



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



Facultad de Planeación Urbana y
Regional

Licenciatura en Ciencias
Ambientales

Tesis: "Propuesta para la ubicación de un
relleno sanitario mediante el uso de
herramientas de SIG en el municipio de
Zitácuaro, Michoacán"

Autor: Rebeca Jiménez Reyes

Director de Tesis:

Dr. en U. Juan Roberto Calderón Maya

Co-Director:

L. en C.A. Pablo Martínez Martínez

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
OBJETIVOS	10
Objetivo General	10
Objetivos Específicos	10
JUSTIFICACIÓN	11
Capítulo I Descripción del Área de Estudio	12
1.1 Ubicación Geográfica	12
1.2 Contexto Socioeconómico.....	14
1.2.1 Aspectos Demográficos.....	14
1.2.2 Aspectos Económicos	14
1.3 Rasgos Físicos.....	18
1.3.1 Clima	18
1.3.2 Fisiografía.....	18
1.3.3 Geología.....	18
1.3.4 Edafología	23
1.3.5 Hidrología	25
1.3.6 Uso de Suelo.....	27
1.4 Rasgos Biológicos.....	30
1.4.1 Vegetación	30
1.4.2 Fauna	31
1.5 Caracterización del Manejo de Residuos Sólidos y del Tiradero Municipal del municipio de Zitácuaro, Michoacán	32
Capítulo II Antecedentes	39
2.1 Ámbito Internacional.....	39
2.2 Ámbito Nacional	42
2.3 Ámbito Estatal y/o Municipal	45
Capítulo III Marco Conceptual	48
3.1 Conceptualización	48
3.2 Manejo de Residuos Sólidos.....	50
3.2.1 Generación de Residuos Sólidos	51

3.2.2 Composición de residuos sólidos	52
3.2.3 Separación de Residuos Sólidos.....	53
3.2.4 Recolección y Transporte de Residuos Sólidos	53
3.2.5 Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos.....	54
3.3 Relleno Sanitario	55
3.4 Base de Datos Geográfica	56
3.5 Conceptos Básicos de SIG.....	57
3.6 Sistemas de Información Geográfica SIG	58
3.7 Software ARC GIS	59
3.8 Análisis Multicriterio.....	59
Capítulo IV Marco Normativo	61
4.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	61
4.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.....	62
4.3 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.....	62
4.4 Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.....	63
4.5 Ley para la Prevención y Gestión Integral de Residuos en el Estado de Michoacán de Ocampo.....	65
Capítulo V Metodología	67
5.1 Etapa I Antecedentes del Tema	69
5.2 Etapa II Descripción y Caracterización de la Zona de Estudio	69
5.3 Etapa III Marco Conceptual y Normativo	71
5.4 Etapa IV Aplicar Técnicas de Evaluación Multicriterio a través del Software ARC GIS.....	71
5.5 Etapa V Presentación y Análisis de Resultados	74
Capítulo VI Presentación de Resultados y Conclusiones	75
6.1 Mapas de Factores.....	75
6.2 Mapas de Restricciones	78
6.3 Determinación de Sitios Óptimos para Implementar un SDF	85
6.4 Propuesta	87
6.5 Conclusiones.....	99
Anexos	101

Índice de Imágenes

Imagen 1.1 Mapa de Ubicación del Municipio de Zitácuaro, Michoacán	12
Imagen 1.2 Municipios Colindantes Zitácuaro, Michoacán	13
Imagen 1.3 Mapa Geológico del Municipio de Zitácuaro, Michoacán	19
Imagen 1.4 Mapa Edafológico del Municipio de Zitácuaro, Michoacán	23
Imagen 1.5 Mapa Hidrológico del Municipio de Zitácuaro, Michoacán	27
Imagen 1.6 Mapa de Uso de Suelo del Municipio de Zitácuaro, Michoacán.....	29
Imagen 1.7 Mapa Ubicación del Actual Relleno Sanitario del Municipio de Zitácuaro, Michoacán	35
Imagen 1.8 Fotografía Relleno Sanitario Actual de Zitácuaro, Michoacán	36
Imagen 1.9 Fotografía Relleno Sanitario Actual de Zitácuaro, Michoacán.	36
Imagen 1.10 Fotografía Relleno Sanitario Actual de Zitácuaro, Michoacán.....	37
Imagen 1.11 Fotografía Relleno Sanitario Actual de Zitácuaro, Michoacán	37
Imagen 4.1 Marco Normativo.....	61
Imagen 5.1 Metodología	68
Imagen 6.1 Mapa Área Urbana y Localidades Zitácuaro, Michoacán.....	76
Imagen 6.2 Mapa Cuerpos de Agua y Ríos Zitácuaro, Michoacán	77
Imagen 6.3 Mapa Pozos Zitácuaro, Michoacán.....	78
Imagen 6.4 Mapa Áreas Naturales Protegidas Zitácuaro, Michoacán	79
Imagen 6.5 Mapa Pendiente: Zonas de Recarga, Zonas de Inundación, Deslaves y Erosión Zitácuaro, Michoacán	83
Imagen 6.6 Mapa Zonas Arqueológicas Zitácuaro, Michoacán	84
Imagen 6.7 Mapa Fallas y Fracturas Zitácuaro, Michoacán	85
Imagen 6.8 Mapa Determinación de Zonas Óptimas para Implementar Relleno Sanitario Zitácuaro, Michoacán	86
Imagen 6.9 Mapa Propuesta de Sitios Óptimos para Implementar Relleno Sanitario Zitácuaro, Michoacán	88
Imagen 6.10 Fotografía Propuesta Sitio 1 Zitácuaro, Michoacán	89
Imagen 6.11 Fotografía Propuesta Sitio 1 Zitácuaro, Michoacán	90
Imagen 6.12 Fotografía Propuesta Sitio 1 Zitácuaro, Michoacán	90
Imagen 6.13 Fotografía Propuesta Sitio 1 Zitácuaro, Michoacán	91

Imagen 6.14	Fotografía Propuesta Sitio 2 Zitácuaro, Michoacán	92
Imagen 6.15	Fotografía Propuesta Sitio 2 Zitácuaro, Michoacán	93
Imagen 6.16	Fotografía Propuesta Sitio 2 Zitácuaro, Michoacán	93
Imagen 6.17	Fotografía Propuesta Sitio 2 Zitácuaro, Michoacán	94
Imagen 6.18	Fotografía Propuesta Sitio 2 Zitácuaro, Michoacán	94
Imagen 6.19	Fotografía Propuesta Sitio 2 Zitácuaro, Michoacán	95
Imagen 6.20	Fotografía Propuesta Sitio 3 Zitácuaro, Michoacán	96
Imagen 6.21	Fotografía Propuesta Sitio 3 Zitácuaro, Michoacán	97
Imagen 6.22	Fotografía Propuesta Sitio 3 Zitácuaro, Michoacán	97
Imagen 6.23	Fotografía Propuesta Sitio 3 Zitácuaro, Michoacán	98
Imagen 6.24	Fotografía Propuesta Sitio 3 Zitácuaro, Michoacán	98

Índice de Gráficas

Gráfica 1.1	Población Económicamente Activa (PEA) por sector de actividad.....	15
--------------------	--	----

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Tipo de Rocas en el municipio de Zitácuaro, Michoacán	20
Tabla 1.2 Tipo de Suelos en el municipio de Zitácuaro, Michoacán	24
Tabla 1.3 Porcentaje Hidrográfico del municipio de Zitácuaro, Michoacán.....	26
Tabla 1.4 Generación de Residuos por Subproducto del Municipio de Zitácuaro, Michoacán.....	33
Tabla 1.5 Tipo de Transporte de Residuos del Municipio de Zitácuaro, Michoacán.....	34
Tabla 2.1 Metodología Utilizada en Ámbito Internacional.....	42
Tabla 2.2 Metodología Utilizada en Ámbito Nacional.....	44
Tabla 2.3 Metodología Utilizada en Ámbito Estatal y/o Municipal.....	46
Tabla 3.1 Tipos de Relleno Sanitario.....	55
Tabla 5.1 Factores que Establece la Norma.....	72
Tabla 5.2 Restricciones que Establece la Norma	73
Tabla 6.1 Rangos de Pendiente	81

INTRODUCCIÓN

Hoy en día nos enfrentamos a un problema serio como país, como lo es el manejo de residuos sólidos municipales, este problema se ha incrementado en los últimos años a causa del crecimiento poblacional y el desarrollo industrial, lo cual trae como consecuencia que aún en las regiones más alejadas exista un cambio significativo en los hábitos de consumo y por ende una mayor producción de residuos sólidos, aunado a esto no se cuenta con la infraestructura necesaria para su manejo lo que provoca que la disposición de éstos sea en tiraderos a cielo abierto que sin duda son un grave problema tanto para la salud humana como para los recursos naturales como el agua, suelo, aire, ecosistemas y en general al medio ambiente; lo anterior, constituye un motivo para que se implanten las soluciones adecuadas para resolver los problemas de su manejo y disposición final (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002).

El municipio de Zitácuaro, Michoacán, no está exento de este problema ya que no existe una adecuada gestión ni un manejo de residuos sólidos, además de contar con un relleno sanitario actual sin más vida útil y alejado de la normatividad establecida que ha afectado a los pobladores que habitan cerca de donde está ubicado, provocándoles algunas infecciones y quejas del mal manejo y el mal olor emitido en el área.

Si bien es inevitable generar residuos, lo más conveniente es implementar medidas importantes que contribuyan a mitigar su impacto al medio ambiente como lo son los rellenos sanitarios, desafortunadamente, la mayoría de los residuos generados son depositados en tiraderos a cielo abierto y en sitios de disposición final no controlados que no cumplen los lineamientos establecidos en la norma NOM-083-SEMARNAT-2003, ya que emiten gases que contaminan la atmósfera, las aguas superficiales y subterráneas, generan enfermedades e impactos negativos al ambiente y la salud humana.

Este problema es consecuencia en su mayoría de la falta de cultura, conciencia y el mal hábito del consumismo, pero sobre todo de la escases de sitios de disposición

final adecuados que estén al margen de las normas con las que debe cumplir ya que son el punto más débil de los procesos de manejo de residuos municipales (Bernache Pérez, 2012).

Por lo que esta investigación consta en hacer un estudio en el municipio de Zitácuaro, Michoacán para buscar y proponer sitios adecuados, en donde se podría ubicar un relleno sanitario que cumpla con la normatividad propia para evitar los riesgos que puede ocasionar una mala disposición de residuos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el municipio de Zitácuaro, Michoacán no cuenta con una buena gestión integral de residuos ni con un adecuado sitio de disposición final para los mismos, el ayuntamiento reconoce que no se cumple con las normas adecuadas en el relleno sanitario municipal, esto se debe a que las celdas construidas fueron hechas de manera inadecuada, y se ha terminado su vida útil, se pretende construir una nueva celda en los terrenos de este tiradero, aunque se trata de una zona rocosa que complica la excavación, así que la finalidad es encontrar un lugar adecuado para ubicar un relleno sanitario que cumpla con las normas ambientales, con el fin de ser sostenible (Rangel, 2015).

La generación de residuos en el municipio de Zitácuaro es de 95 a 115 toneladas diarias según el informe anual 2019 del municipio, mismas que ya no pueden ser depositadas en el anterior relleno sanitario por los problemas de infecciones y contaminación que éste ha generado desde hace tiempo. En el plan de desarrollo municipal actual menciona que el relleno sanitario del municipio está sobresaturado, la planta de separación de residuos funciona al 60% de su capacidad y aunado a ello el municipio no cuenta con un plan de manejo integral de residuos sólidos (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018).

El ayuntamiento de Zitácuaro 2015, plantea en el plan de desarrollo como solución al problema, construir el relleno sanitario municipal y el centro de transferencia de residuos (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018).

Por lo tanto, esta investigación se enfoca en determinar un sitio ideal, lo más apegado a la NOM-083-SEMARNAT-2003, para ubicar un nuevo relleno sanitario municipal, por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación;

¿Existen lugares en el municipio de Zitácuaro, Michoacán para ubicar un relleno sanitario que cumpla con las especificaciones ambientales de la norma oficial NOM-083-SEMARNAT-2003?

OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar una propuesta de localización para la ubicación de un nuevo relleno sanitario en el municipio de Zitácuaro, Michoacán, incluyendo criterios ambientales de la NOM-083-SEMARNAT-2003 apartado 6.1 “Restricciones para la ubicación del sitio”.

Objetivos Específicos

- Describir a grandes rasgos la condición del actual relleno sanitario por medio de una visita de campo.
- Revisar casos de éxito en ámbito internacional, nacional y municipal, para contrastar metodologías y variables utilizadas.
- Analizar el marco legal y normativo que aborda la regulación respecto a los rellenos sanitarios en México para identificar criterios de localización de disposición final de los residuos.
- Identificar si existen lugares óptimos para la ubicación de un relleno sanitario que cumplan con la NOM-083-SEMARNAT—2003 apartado 6.1 “Restricciones para la ubicación del sitio” en el municipio de Zitácuaro, Michoacán; mediante el Uso de herramientas de SIG.

JUSTIFICACIÓN

La finalidad de esta investigación es encontrar sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos, incorporando factores y criterios establecidos en la Norma Oficial Mexicana para la ubicación adecuada de un relleno sanitario.

Cabe mencionar que el municipio de H. Zitácuaro, Michoacán se encuentra en un desarrollo económico e industrial y aunado al crecimiento poblacional hacen que fijemos nuestra atención en las condiciones en las que se encuentra el manejo de residuos, en especial la disposición final de los mismos ya que esta última fase está directamente ligada con la preservación del medio ambiente y a la salud de la población.

Como se planteó anteriormente la problemática que enfrenta el municipio de Zitácuaro, Michoacán es de gran relevancia, ya que aunque existe la conciencia de mantener un sitio adecuado para la disposición final de los residuos, permanece la práctica de depositar los residuos en tiraderos a cielo abierto que consta de colocar los residuos en el suelo sin protección alguna; problemática que afecta a este municipio y situación que trae como consecuencia el deterioro del medio ambiente (aire, suelo, agua) y un riesgo de salud e incomodidad a la población.

Otra razón es que desde el año 2015 la situación del relleno sanitario municipal ha sido preocupante y la solución que le han dado es crear celdas nuevas y hacer modificaciones al relleno sanitario para seguir depositando los residuos generados en el municipio, debido a que no se ha dispuesto un presupuesto a dicha obra incluso en la actual administración pública, actualmente la situación del relleno es delicada pues son más de 20 años que se depositan en ese terreno los residuos del municipio (Primer Plano, 2017).

La propuesta para desarrollar este proyecto tiene como finalidad beneficiar al municipio, a la población y al medio ambiente ya que desafortunadamente el municipio no se ha dado a la tarea de ubicar lugares que cumplan con las normas establecidas para el establecimiento de un relleno sanitario.

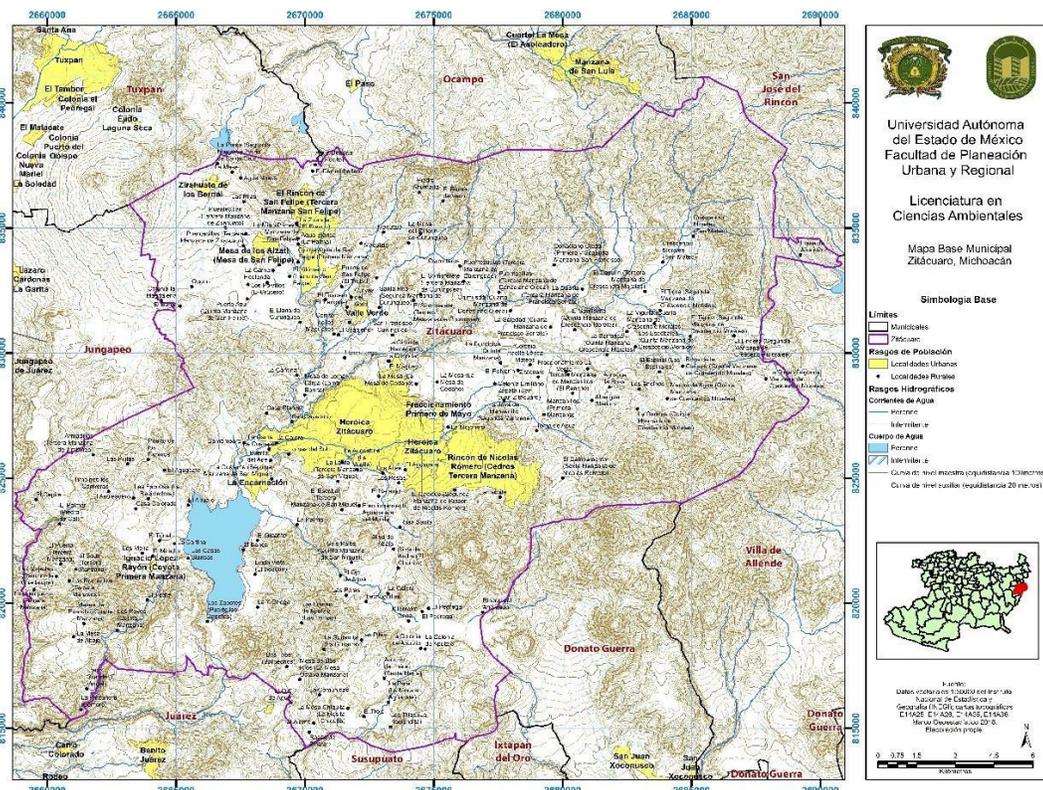
Capítulo I Descripción del Área de Estudio

1.1 Ubicación Geográfica

El municipio de Zitácuaro se localiza en la sub-región noroeste del Estado de Michoacán y su ubicación comprende las siguientes coordenadas: al norte 19° 33' (Cerro de la Peña), al sur 19° 19' de latitud norte (Cerro El Águila); al este 100° 10' (Lengua de Vaca) y al oeste 100° 29' longitud oeste (Las Mesitas) y se encuentra a una altitud de 1940 metros sobre el nivel del mar.

La extensión del municipio de Zitácuaro es de 494 km², superficie que representa el 0.86% del territorio estatal y ocupa el 43º lugar entre los demás municipios de la entidad (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018) (Imagen 1.1, ver anexo de mapas).

Imagen 1.1 Mapa de Ubicación del Municipio de Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

Zitácuaro, colinda, al norte, con los municipios de Tuxpan, Ocampo; al este con el Estado de México; al sur con el Estado de México y los municipios de Juárez, Susupuato y Jungapeo; al oeste con los municipios de Juárez, Jungapeo y Tuxpan (Ayuntamiento de Zitácuaro, Michoacán, 2015) (Imagen 1.2).

Imagen 1.2 Municipios Colindantes Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

Zitácuaro en general es un punto de comercio importante entre los municipios aledaños los cuales comercializan sus principales productos y permiten que el municipio eleve su actividad económica en el sector terciario.

También por la colindancia con el Estado de México se promueve un desarrollo demográfico considerable puntos que se mencionan en el siguiente apartado.

1.2 Contexto Socioeconómico

1.2.1 Aspectos Demográficos

Mientras más pasan los años, el incremento de la población nos lleva a sobrepasar los límites de la generación de residuos, que ocasionan un acelerado deterioro ambiental y por ende problemas sociales como una mala gestión de los residuos y menor capacidad de disposición fina, esto repercute en el deterioro ambiental porque la descomposición de los residuos genera gases tóxicos y contaminación de agua subterránea.

El municipio de Zitácuaro no está exento del problema del crecimiento poblacional, pues se estima que la tasa de crecimiento anual pasó de 1.5 en la década 1950 – 1960 a 2.88 en el período 2005-2010, de acuerdo con los datos del Censo de Población del INEGI 2010.

La población total del municipio de Zitácuaro es de 164,144 habitantes, de los cuales el 77,086 son hombres y 87,058 son mujeres, distribuidos en 163 localidades (INEGI. Encuesta Intercensal 2015).

1.2.2 Aspectos Económicos

a) Población económicamente activa (PEA) por sector de actividad

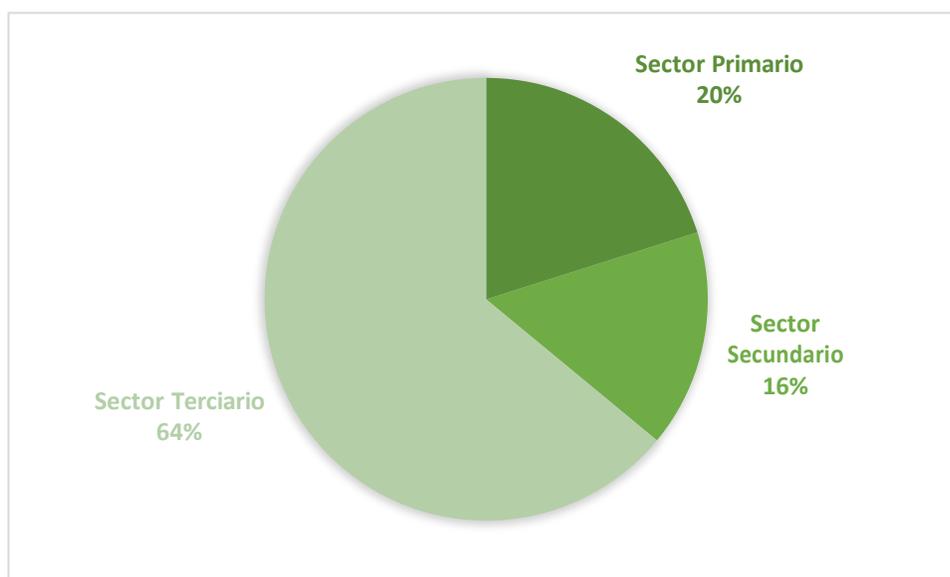
Analizar el PEA por sector de actividad nos ayudara a conocer el porcentaje de la población que se dedica a actividades primarias, secundarias y terciarias, lo cual nos permite conocer la condición económica del municipio.

La PEA del municipio de Zitácuaro es de 57,709 personas de las cuales 39,547 son hombres y 18,162 son mujeres. La población no económicamente activa representa un total de 56,288 individuos, de los cuales el 75 % corresponde a mujeres. La población económicamente activa ocupada es de 54,963 personas, de las cuales 17,673 son mujeres, lo que nos indica que solo el 4.75 % de la PEA se encuentra desocupada. En este mismo sentido la encuesta intercensal nos dio a conocer que para 2015 la población ocupada es de 58,407, de los cuales 38,180 son hombres y

20,227 son mujeres (INAFED Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2010).

La gráfica 1.3 refleja el porcentaje de la población económicamente activa dedicada al sector primario, secundario y terciario.

Gráfica 1.1 Población Económicamente Activa (PEA) por sector de actividad.



Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2016).

b) Agricultura

En cuanto al municipio existe variedad de cultivos utilizados y gran parte de la economía depende de este ámbito. La superficie agrícola sembrada y cosechada de acuerdo con datos de (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018) en promedio es de 11,633 hectáreas sembradas.

La producción agrícola de los principales cultivos es la siguiente:

- Maíz grano: 7,390 hectáreas sembradas, mismas que han sido cosechadas con un total de 17,072 toneladas.
- Trigo grano: 19 hectáreas sembradas y cosechadas, con una producción de 53.9 toneladas.

- Aguacate: 1,238 hectáreas sembradas, de las cuales, en el 89.2 % se obtuvieron 11,293 toneladas.
- Fresa: 37 hectáreas sembradas, con una producción de 648 toneladas.
- Guayaba: 1,560 hectáreas sembradas, de las cuales el 99.4 % produjo una cosecha de 28,365 toneladas.

La agricultura es el principal sustento económico del municipio de Zitácuaro y beneficia a la mayor parte de la población, los productos agrícolas mencionados anteriormente son en su mayoría exportados así que su producción ha ido incrementando con el paso de los años, al mismo tiempo provoca la necesidad de cambio de uso de suelo para tener mayor capacidad de producción lo que causa la pérdida de área forestal del municipio.

c) Ganadería

En el plan de desarrollo municipal 2015-2018 se destaca que en el área de estudio la producción de ganado bovino, porcino, ovino, aves en pie y carne en canal, tiene un promedio de producción de 1,739 toneladas anuales, sobresaliendo la producción de ganado bovino 1,152 toneladas, carne en canal de las mismas especies, un total de 990 toneladas con un aproximado de 33,600 animales sacrificados, entre los que sobresalen las aves, con 21,663 sacrificios.

La producción de leche por el ganado bovino es aproximadamente de 4 millones 950 mil litros anuales, del ganado caprino, 32 mil litros, huevo para plato 310 toneladas. La Producción de miel, cera en breña y lana sucia: Miel 37.2 toneladas, cera en breña 1.7 toneladas y lana sucia 5.9 toneladas (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018).

d) Comercio

El comercio en el municipio de Zitácuaro consta principalmente de productos alimenticios y abarros, es un motor importante en la economía es decir que cientos de personas subsisten gracias a esta actividad y gran parte de los ingresos se quedan en el municipio.

El comercio ha sido muy intenso desde que el municipio de Zitácuaro fue fundado y es que hace algunas décadas fue la principal actividad económica, ya que aún no se contaba con industria, minería ni alguna otra actividad que pudiera generar mayor ingreso al municipio (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018).

e) Industria

En el municipio de Zitácuaro se encuentran industrias como Cemento Moctezuma, CEMEX, el polígono industrial MASISA, también están las Instalaciones de Pemex de Gas Licuado de Petróleo; única en la Región Oriente del estado que exporta y surte gas en Zitácuaro y otras ciudades como Ciudad Hidalgo, Benito Juárez, Ocampo, entre otras (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018).

Por otro lado, hay industria para la fabricación de muebles, de aceites, harinas, fertilizantes y para la producción del tabique. En las afueras de la ciudad se encuentra la denominada "Zona Industrial" donde se encuentran empresas de Bimbo, Coca Cola, Sello Rojo, Grupo Modelo, etc. Ahí mismo está la central de abastos en la cual se reciben productos de otros lugares del país favoreciendo a la economía del municipio y el estado (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018).

f) Minería

Existen yacimientos de minerales metálicos y no metálicos, tales como el fierro, cobre, zinc, cadmio, plomo, plata, oro, tierras fuller, arenas, gravas, calizas, mármol, caolín, sílice y yeso entre otros, que se encuentran principalmente en el Volcán del Molcajete y el cerro de Ziráhuato (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018).

Michoacán es el segundo estado productor en el país de coque y tercero en hierro. El sector minero tiene un gran potencial económico en cuanto a la explotación de minerales metálicos (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018).

1.3 Rasgos Físicos

Los rasgos físicos del municipio toman parte esencial en este proyecto ya que cada aspecto que se menciona a continuación influye de manera positiva o negativa según sea el requisito adecuado a la hora de buscar un sitio óptimo para ubicar un relleno sanitario.

1.3.1 Clima

El clima del municipio de Zitácuaro es templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (49.69%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (27.28%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (14.96%), semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (7.62%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (0.45%). El rango de temperatura oscila entre 8 - 24 °C, y el rango de precipitación se encuentra entre 800 - 1100 mm (INEGI, 2010).

1.3.2 Fisiografía

El sistema de topoformas está compuesto por Lomeríos de basalto con mesetas (63.22%), Sierra compleja (32.96%), Sierra volcánica de laderas escarpadas (1.95%), Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados con mesetas (0.65%) y Llanura aluvial (0.13%) (INEGI, 2010).

1.3.3 Geología

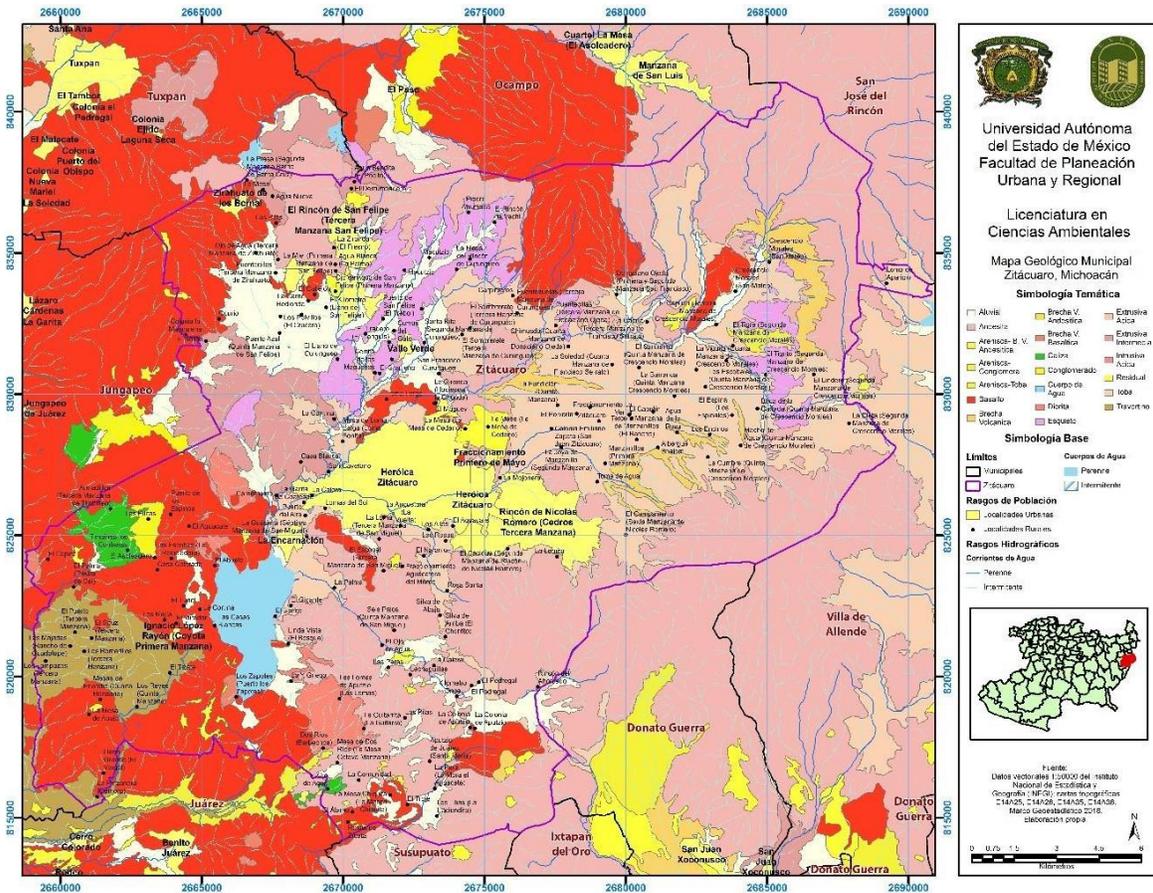
Los periodos geológicos que comprenden este municipio son: Neógeno (43.12%), Cuaternario (31.79%), Jurásico superior (6.9%), Cretácico inferior (13.48%), Paleógeno (3.52%), Terciario (0.70%) y Cretácico (0.49%).

El municipio contiene una composición geológica amplia, que se representa por los siguientes porcentajes: Roca ígnea intrusiva: diorita (0.70%), Roca Ígnea extrusiva: andesita (34.51%), basalto (16.05%), toba (15.85%) y brecha volcánica (0.77%),

Sedimentaria: arenisca conglomerado (3.81%), caliza (0.49%) y travertino (3.80%),
 Metamórfica: esquistos (13.49%), aluvial (3.50%) y residual (0.13%).

El porcentaje faltante corresponde a Zonas Urbanas con 5.53% y Cuerpo de Agua con 1.37% (INEGI, 2010) (Imagen 1.3, ver anexo de mapas).

Imagen 1.3 Mapa Geológico del Municipio de Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

Es importante conocer qué tipo de geología que existe en el municipio, pues en parte es una característica fundamental para encontrar un sitio donde ubicar un relleno sanitario debido a dos razones, una es la construcción, si las rocas son demasiado duras hará muy difícil el proceso de excavación para la construcción.

La otra razón es la permeabilidad de las rocas, depende de la porosidad, fallas y grietas que contengan las rocas, se determina si es permeable o no el área, el tipo

de roca óptimo debe tener baja permeabilidad para evitar que los lixiviados se mezclen con el agua de lluvia y se infiltren en el suelo, contaminando ambas partes.

La siguiente tabla muestra la descripción de cada tipo de roca que se encuentra en el municipio.

Tabla 1.1 Tipo de Rocas en el municipio de Zitácuaro, Michoacán.

TIPO DE ROCA	ROCA	DESCRIPCIÓN
Ígnea Intrusiva	Diorita	Rocas producto de un enfriamiento lento del magma y a grandes profundidades. Es común hallarlas en zonas dominadas por plegamientos y cabalgamientos de la corteza terrestre.
Ígnea Extrusiva	Andesita	Se compone de minerales félsicos y máficos. Por la proporción de silicatos oscuros, superior al 25%, es clasificada como roca andesítica o de composición intermedia.
	Basalto	Es una de las rocas más extendidas de la corteza terrestre, es una roca ígnea volcánica. Su formación es producto del rápido enfriamiento del magma que expulsan los volcanes. El basalto que se encuentra expuesto a la atmósfera tiene tendencia a meteorizarse.
	Toba	Producto de violentas erupciones volcánicas. Se caracterizan por su consistencia porosa y liviana. Su principal uso es en la industria de la construcción, es posible encontrarla en las áreas con presencia de volcanes, en distintas regiones del mundo.
	Brecha Volcánica	Las brechas se generan en erupciones explosivas por rotura de la roca de caja y/o de

Sedimentaria		tapones de lava que obturan los conductos de emisión. También se asocian a la extrusión de domos y a la formación de algunos diques.
	Arenisca-conglomerado	<p>La arenisca es una roca sedimentaria compuesta por fragmentos de cuarzo, mica y feldespatos, entre otras rocas y minerales del tamaño de la arena. Los clastos o partículas de mineral se acumulan mecánicamente y se ordenan por efecto del agua o el aire.</p> <p>El conglomerado es una roca sedimentaria formada a partir de fragmentos de rocas grandes, redondeadas en una matriz de sedimentos de grano fino.</p>
	Caliza	La caliza es una roca sedimentaria compuesta en un 90% por Carbonato de Calcio (CaCO_3), especialmente Calcita y Aragonita. En su versión más pura es de color blanco, pero mezclada con arcilla, hematita, óxido de hierro y cuarzo, adquiere tonalidades diferentes como marfil, marrón y gris azulado, entre otras.
Metamórfica	Travertino	El travertino es una roca formada por depósitos de calcita en manantiales y fuentes termales. En ocasiones contiene otras formas cristalinas de carbonato de calcio, como el aragonito y pequeñas porciones de limonita, mineral óxido de hierro.
	Esquisto	El esquisto es una roca metamórfica del grupo de los silicatos, caracterizada por el apilamiento de minerales planos, alargados y alineados. Está compuesta principalmente por

		mica, grafito, clorita, talco y hornblenda, continuados de cuarzo y minerales tecto y aluminosilicatos.
	Aluvial	Se forma a partir de materiales arrastrados y depositados por corrientes de agua. En la desembocadura del río se forma una gran llanura aluvial en la que abundan lagunas y albuferas.
	Residual	Se originan cuando los productos de la meteorización no son transportados como sedimentos, sino que se acumulan en el sitio en que se van formando. Si la velocidad de descomposición de la roca supera a la de arrastre de los productos de la descomposición se produce una acumulación de suelo residual. Entre los factores que influyen en la velocidad de alteración de la naturaleza de los productos de la meteorización están el clima (Temperatura y lluvia), la naturaleza de la roca original, el drenaje y la actividad bacteriana.

Fuente: Elaboración propia con información de (PELLANT, 1992).

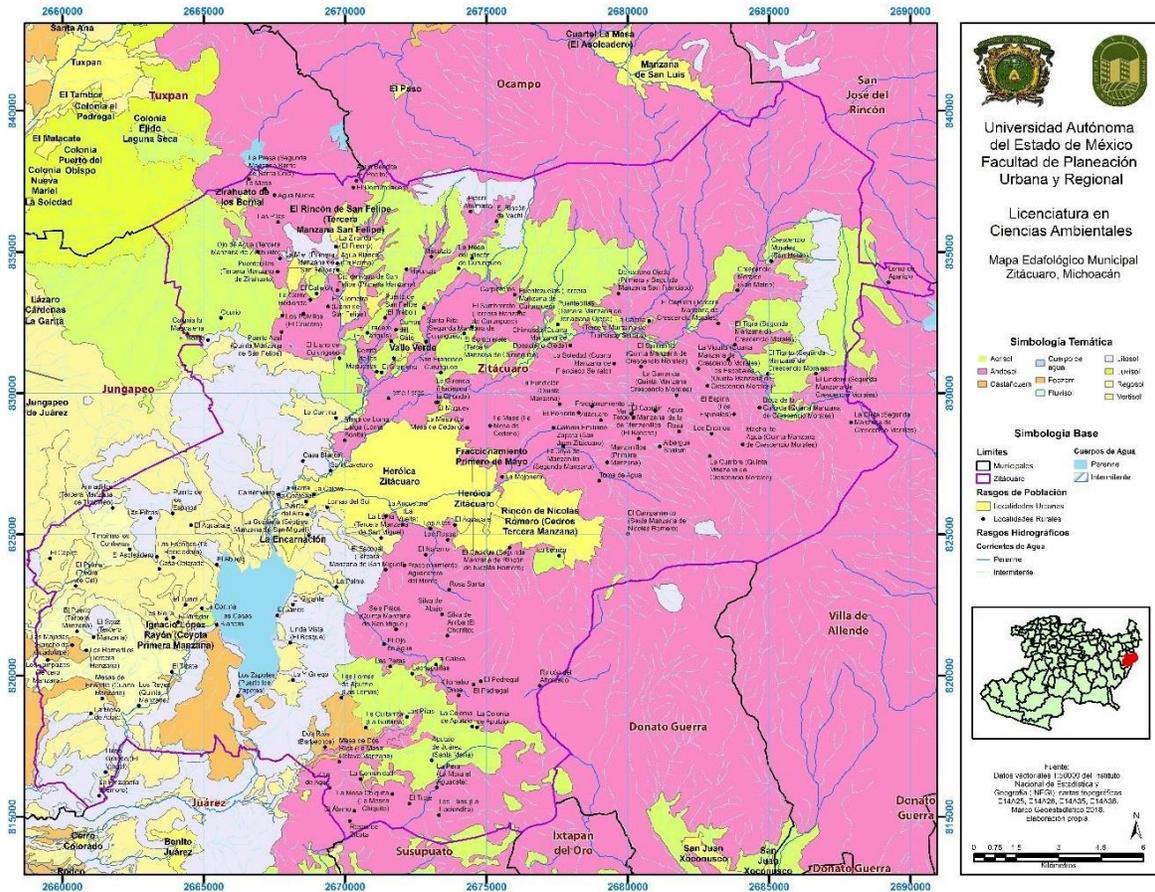
En este caso el tipo de geología más adecuado para un sitio donde ubicar un relleno sanitario es la toba, geología residual, brecha volcánica y aluvial.

1.3.4 Edafología

Tomar en cuenta los rasgos edafológicos del municipio nos ayuda a evitar contaminación al ambiente, sobre todo refiriéndonos al agua ya que la capa de suelo natural es la que protege al suelo y subsuelo de contaminación de lixiviados.

Los 7 diferentes tipos de suelo que componen al municipio tienen los siguientes porcentajes: Andosol (38.70%), Litosol (21.48%), Feozem (12.39%), Acrisol (9.27%), Vertisol (5.53%) Luvisol (3.10%), Regosol (2.59%), el porcentaje faltante corresponde a Zonas Urbanas con 5.53%, Cuerpo de Agua con 1.37% y NA con 0.04% (INEGI, 2010) (Imagen 1.4, ver anexo de mapas).

Imagen 1.4 Mapa Edafológico del Municipio de Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

Tomando en cuenta estudios previos (Criterios de Selección, 2002); Los suelos aptos para ubicar un SDF, deben asegurar condiciones de impermeabilidad suficiente para no causar riesgo de contaminación, los suelos ideales tienen características de “limo y arcilla” los tipos de suelo con estas características se definirán después de conocer las propiedades de cada uno de los suelos que se encuentran en el municipio descritos en la siguiente tabla:

Tabla 1.2 Tipo de Suelos en el municipio de Zitácuaro, Michoacán.

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN
Acrisol	Se encuentra sobre productos de alteración de rocas ácidas, con elevados niveles de arcillas muy alteradas, las cuales pueden sufrir posteriores degradaciones.
Andosol	Fundamentalmente son cenizas volcánicas, aunque también se desarrollan a partir de pómez, lapilli y otros productos de eyección volcánica.
Feozem	Son suelos en su mayoría delgados, limitados por roca o una capa de tepetate; son de permeabilidad media a baja, tienen un color negro grisáceo o gris oscuro, contienen altas cantidades de materia orgánica y son ligeramente ácidos, sin salinidad elevada.
Litosol	Suelos no evolucionados, como resultado de fenómenos erosivos, que se han formado sobre roca madre dura. También pueden ser resultado de la acumulación reciente de aportes aluviales. Aparece en escarpas y afloramientos rocosos. Se conocen también como leptosoles, del griego leptos, que significa 'delgado'.
Luvisol	Los luvisoles son sumamente arcillosos, de permeabilidad baja y drenaje lento, ricos en materia orgánica y ligeramente ácidos. Estos suelos se desarrollan principalmente sobre una gran variedad de

	materiales no consolidados como depósitos aluviales y coluviales. Predominan en las zonas planas o con pendientes suaves.
Regosol	Se desarrollan en materiales no consolidados, pero de textura fina, por lo que se distribuyen ampliamente casi en cualquier región
Vertisol	Son suelos que se caracterizan por su textura densa, formación de grietas profundas la mayor parte del tiempo y poseen una estructura en bloques. Son suelos jóvenes, poco profundos, algunos de ellos pedregosos y salinos, tienen alto contenido de arcilla, por lo que son poco permeables y de drenaje muy lento.

Fuente: Elaboración propia con información de (Sanchez Nuñez, y otros, 2008).

En el caso de esta área de estudio los suelos con características de limo y arcilla son los suelos acrisol, feozem, luvisol y vertisol que son los tipos de suelo más convenientes para la ubicación de un SDF.

1.3.5 Hidrología

La hidrología que se destaca actualmente en el plan de desarrollo municipal (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018) es la siguiente:

En el municipio nace el río Zitácuaro o de San Juan Viejo, de considerable extensión; se origina en la sierra de San Cristóbal y en las montañas del oriente del municipio, se alimenta de los afluentes de Macutzio, Crescencio Morales y El Diablo.

El río de San Andrés o San Isidro nacen al este del municipio, recibe las corrientes de las afluentes de Ojo de Agua, Seco y La Ciénaga, Río Herrerías, se forma, al juntarse, en la parte poniente de la ciudad, los ríos de San Juan Viejo y de San Andrés; desaguan en la Presa del Bosque.

En el territorio municipal existen los arroyos de Macutzio y El Zacatón, en San Felipe; el Arroyo de Las Rosas, nace en el sureste del municipio y desemboca su

caudal en el Río San Andrés o San Isidro; el arroyo El Establo se localiza en las tenencias de Ziráhuato y San Felipe; los arroyos de San Bartolomé y Guadalupe se ubican en las tenencias de Francisco Serrato y Crescencio Morales; El Sauz se encuentra en Donaciano Ojeda; El río Seco, en Nicolás Romero; El Oro, en Chichimequillas de Escobedo y Aputzio de Juárez; y El Chiquito en Ignacio López Rayón.

El municipio cuenta con los manantiales de Las Rosas, La Carolina, Cedano, La Colonia, La Girona, y El Cangrejo.

Estas fuentes se nutren de los escurrideros originados en los bosques de la zona montañosa de la parte oriental del municipio.

Mención especial merece la Presa del Bosque, cuya capacidad es de 248.7 millones de metros cúbicos de agua, la cual forma parte del sistema Cutzamala.

Tabla 1.3 Porcentaje Hidrográfico del municipio de Zitácuaro, Michoacán.

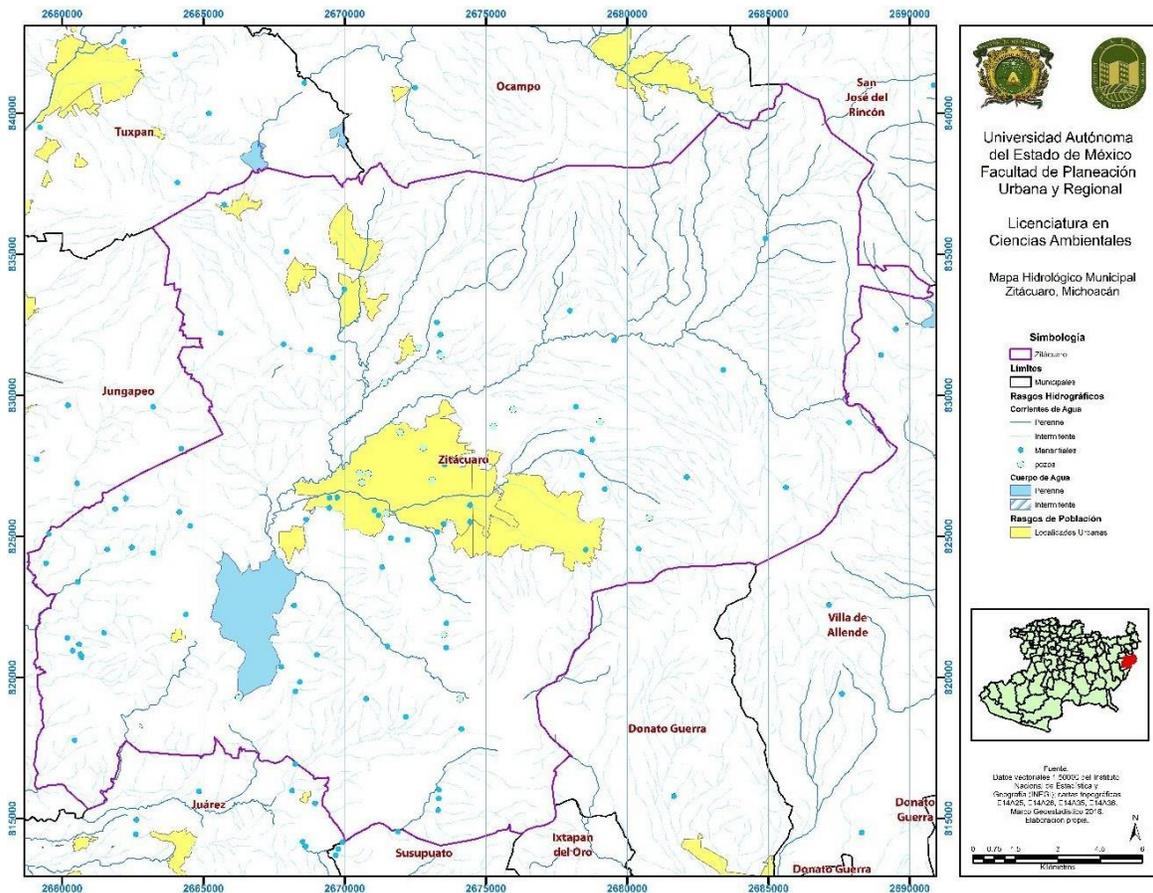
REGIÓN HIDROLÓGICA	CUENCA	SUBCUENCA	CORRIENTES DE AGUA	CUERPOS DE AGUA
Balsas (100%)	R. Cutzamala (100%)	R. Zitácuaro (89.39%), R. Tuxpan (9.61%) y R. Tilostoc (1.00%)	Perenne: Chiquito Intermitentes: Crescencio Morales, El Salto, Guadalupe, Chiquito	Perenne (1.37%): Lago El Bosque

Fuente: Elaboración propia con información de “Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Zitácuaro, Michoacán de Ocampo” (INEGI).

De acuerdo con información de (CONAGUA, 2018) los acuíferos que abarcan el municipio de Zitácuaro, Michoacán en su totalidad son los siguientes:

- Acuífero Huetamo, que abarca el 80% del municipio.
- Acuífero CD Hidalgo-Tuxpan, que comprende el 20% del municipio.

Imagen 1.5 Mapa Hidrológico del Municipio de Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

1.3.6 Uso de Suelo

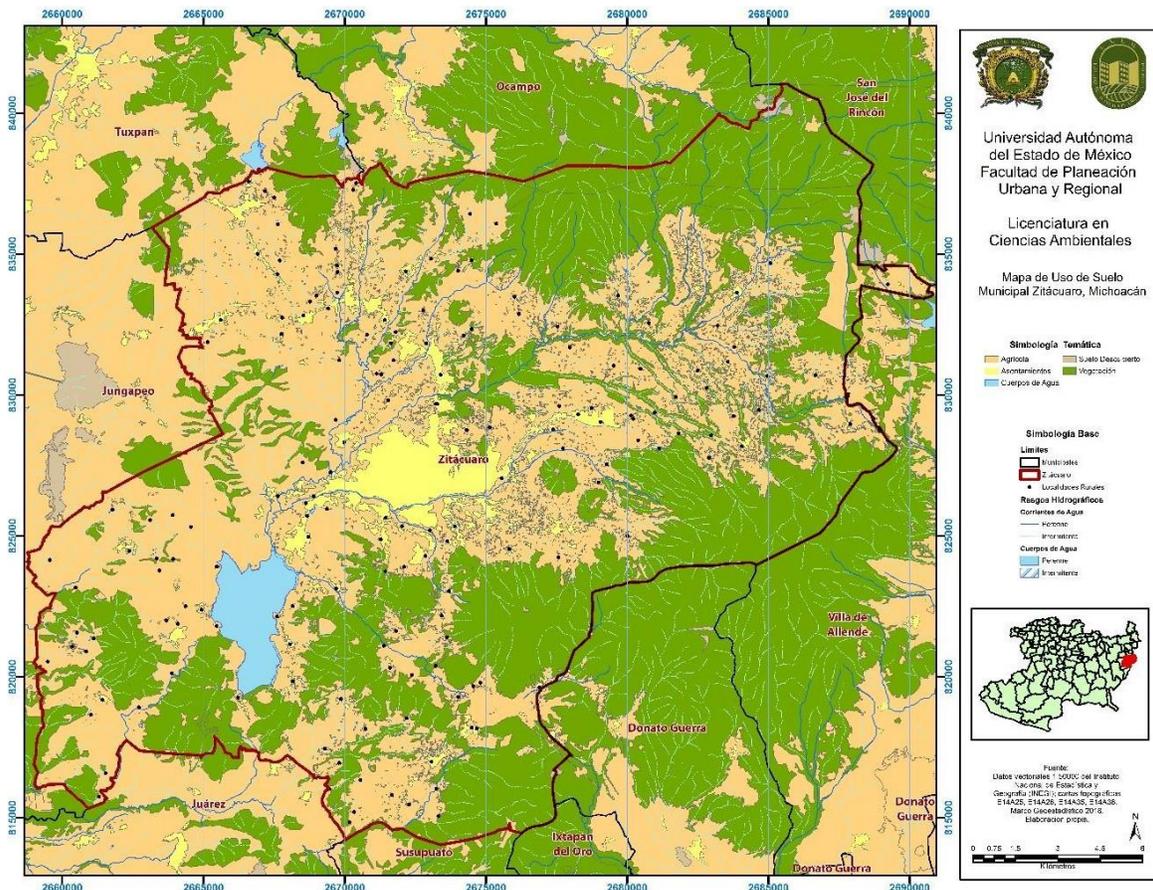
De acuerdo con la FAO (Food and Agriculture Organization) el uso de suelo comprende "las acciones, actividades e intervenciones que realizan las personas sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla".

El uso del suelo abarca la gestión y modificación del medio ambiente natural para convertirlo en terreno agrícola: campos cultivables, pastizales; o asentamientos humanos. El término uso del suelo también se utiliza para referirse a los distintos usos del terreno en zonificaciones.

Es importante tomar en cuenta el uso de suelo para la elección de un sitio en donde ubicar un relleno sanitario pues este puede ser restringido dependiendo el uso que tenga, en usos de suelo con asentamientos humanos está restringido de acuerdo a la norma algunas de las razones son el olor de la composición del biogás que puede incomodar a los pobladores de una zona urbana, si este genera lixiviados que no se traten adecuadamente puede ser un foco de infección por proliferación de insectos o enfermedades bacterianas y por el hecho del metano producido que puede generar explosiones o incendios. La zona de vegetación no está restringida en la norma pero si hablamos de conservación del ambiente es un área que debemos evitar para ubicar un relleno sanitario a menos que fuera nuestra única opción y se comprobara que el grado de afectación a la conservación del medio ambiente sería menor respecto al beneficio que este daría, en cuanto al uso de suelo agrícola es un área que se puede considerar óptima porque muchas veces estos espacios dejan de estar en uso aunque espacialmente estén marcados como suelo agrícola y varios de ellos son pastizales, los cuerpos de agua están restringidos por la norma a una cierta distancia para evitar la filtración de lixiviados. En cuanto a las zonas más adecuadas para la ubicación de un relleno sanitario son las áreas de suelos desprovistos de vegetación pues estos suelos no tienen algún uso lo que significa que no tendrían un cambio de uso del suelo drástico.

El mapa de uso de suelo fue elaborado para identificar que tipo de uso de suelo abarca el municipio y en qué porcentaje para conocer la disponibilidad de las áreas en las que se puede ubicar un SDF (Imagen 1.6, ver anexo de mapas).

Imagen 1.6 Mapa de Uso de Suelo del Municipio de Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

Cabe destacar que el mapa anterior fue actualizado mediante una herramienta satelital en línea llamada Google Earth y los porcentajes actuales son los siguientes: Agrícola (37.4%), Asentamientos (25%), Cuerpos de agua (4.3%), Suelos desprovistos de vegetación (2.2%), Vegetación: (31.1%).

De acuerdo con el uso de suelo se observa en el mapa un buen porcentaje de espacio en el municipio donde ubicar un relleno sanitario, sin embargo, aún falta contrastarlo con demás variables que se implementarán en la metodología.

El cambio de uso de suelo de vegetación a agrícola se ha visto incrementado en gran manera y las zonas que aún lo conservan son las áreas naturales protegidas del municipio, debido a esto se han modificado los rasgos biológicos del municipio a través de los años mismos que se describen a continuación.

1.4 Rasgos Biológicos

El municipio de Zitácuaro tiene una diversidad biológica considerable y basta sobre todo en bosques, lo cual a través de los años se ha visto afectada por cambios de uso de suelo agrícola; a continuación, se describe la vegetación y fauna con la que se cuenta actualmente.

1.4.1 Vegetación

Los tipos de vegetación que se reconocen en el plan de desarrollo municipal 2018 son Bosque de Coníferas, Bosque Mixto y Bosque Tropical.

El **Bosque de Coníferas** está representado, principalmente, por el pino, oyamel, cedro y tascate. Este tipo de vegetación se localiza en las grandes altitudes de las principales sierras y cerros del municipio, con 2,600 y 3,550 metros de altitud, en suelos que se derivan de rocas ígneas extrusivas e intrusivas, así como sedimentarias.

El **Bosque Mixto** se compone por el encino, cedro, sabino, madroño, fresno, tejocote. En este tipo de bosque también hay herbáceas como yerba del sapo, begonia, salvia, valeriana, entre otras; se desarrolla a menos de 2,600 metros de altitud y se localiza en el centro, centro-este, este, centro-norte, sur y parte del sureste y noroeste del municipio. Es el bosque que, de manera natural, ocupaba la mayor extensión.

El **Bosque Tropical** es de especies arbóreas no espinosas, de dimensiones no muy grandes y que pierden sus hojas por un largo período en la estación seca del año. Generalmente, los suelos son poco profundos, donde la vegetación natural está perturbada por la agricultura o los pastizales y matorrales.

Las especies que se desarrollan en este tipo de bosque son la chirimoya, guanábana, zapote blanco, plátano, guanacaste, cueramo, tepehuaje, guaje, mango, cirrián; tabachin, guaje, tepemesquite, cuajilote, acacia, huizache. En bosque tropical se localiza en el oeste, centro-oeste, y suroeste, y en la parte sur del territorio municipal (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018).

1.4.2 Fauna

Las especies de mayor población en el municipio de Zitácuaro que se describen en el plan de desarrollo municipal 2018 son mamíferos, aves, reptiles, batracios y peces. Las aves son de diversas clases: de hábitat terrestre y de agua dulce. Entre los reptiles existen animales acuáticos y terrestres. De los anfibios (vertebrados caracterizados por vivir tanto en medio acuático como terrestre) son pocos los grupos que se localizan. Los peces son de aguas dulces y no muy numerosas.

Las especies más importantes son aves migratorias e insectos, dentro de los cuales pertenece la mariposa monarca. Entre los animales de bosque de coníferas, mixto y tropical, se localizan especies como venado, onza, zorro, roedores y otros. En la pradera se identifica el coyote, la zorra, el halcón, la rata de campo y otros (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018).

Las principales especies que existen en el municipio son los cánidos: onza, coyote, zorra; pequeños carnívoros: tejón, cacomixtle, hurón, zorrillo, zorrillo manchado; roedores: conejo, liebre, ardilla, ratón de campo, ratón alfarero, ratón rejudo; acuáticos, gallareta; aves: chachalaca, codorniz, güilota, torcaza, paloma, paloma suelera, jilguero, gallina de monte, carpintero, calandria, gorrión mexicano, golondrina, colibrí; reptiles: tortuga, víbora, iguana, coralillo, lagartija, culebrita; batracios: sapo, rana, ajolote; peces: bagre, lisa, mojarra, carpa, trucha arcoíris; insectos: mariposa, mariposa monarca, grillo, libélula, hormiga, cigarra; mamíferos: tlacuache, musaraña, murciélago, armadillo, ratón, rata de campo, ratón de campo, mapache, zorrillo manchado, gato montés, tuza (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018).

Uno de los animales que ha venido a manifestarse en los últimos años en todo su esplendor y ha acaparado la atención de científicos, investigadores y turistas es la Mariposa Monarca, sus principales santuarios de hibernación se encuentran en: cerro Altamirano, sierra Chincua, sierra El Campanario, cerros Chivati, Huacal y cerro Pelón (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2018).

1.5 Caracterización del Manejo de Residuos Sólidos y del Tiradero Municipal del municipio de Zitácuaro, Michoacán

La dirección de servicios públicos es la encargada de la recolección de residuos sólidos municipales, cuentan aproximadamente con cuarenta y cinco empleados en el área, cuatro de ellos son encargados de la parte administrativa, entre ellos hay barrenderos, conductores de camión y encargados de los sitios de transferencia, aunque son un número considerado de empleados en esta área, no es suficiente para garantizar un buen manejo de residuos en un municipio con generación de 164,144 habitantes, por lo tanto existe un déficit en parte del municipio por falta de servicio de limpia y recolección.

Generación: Es una etapa en la que el Ayuntamiento está a tiempo de actuar en los ciudadanos para lograr que la generación reduzca y se logren separar los residuos desde el punto de generación y evitar que se tiren en sitios a cielo abierto por falta de servicio de recolección.

De acuerdo con la información recabada en el municipio de Zitácuaro, Michoacán las principales fuentes de generación son domésticas, industriales y comerciales; la generación per-cápita es de 2.5kg/habitante/día y diariamente se producen de 95 a 115 toneladas. La tabla 1.4 muestra la generación por subproducto aproximada que genera por mes el municipio de Zitácuaro.

Tabla 1.4 Generación de Residuos por Subproducto del Municipio de Zitácuaro, Michoacán.

SUBPRODUCTO	PESO EN KG	PORCENTAJE POR TIPO DE RESIDUO
Cartón	27.7	7.04%
Plástico	79.05	20.09%
Metal	11.3	2.87%
Orgánico	129.5	32.95%
Papel	2.25	0.57%
Tetra-pack	9.45	2.40%
Vidrio	26.25	6.68%
Desechos		
Basura	107.45	27.34%
Total	392.95	100%

Fuente: Elaboración propia con información de (García Vargas M.C.1, Rangel García E.I.2, & García Arreola A.3).

Separación: En esta etapa se puede llevar a cabo una disminución significativa de los residuos sólidos, se garantiza el aprovechamiento y transformación de una cantidad alta de residuos generados, en el municipio de Zitácuaro el 30.95% son desechos no valorizables que deben tener como disposición final el tiradero municipal, sin embargo, el 69.05% son residuos que son valorizables y puede evitarse que vayan a parar al tiradero, pero no existe una buena separación por parte de los empleados así que lo que más se separa es el plástico y se vende a una recicladora que está en el municipio.

Recolección y Transporte: Actualmente el servicio de recolección se lleva a cabo diariamente en el municipio, los tipos de recolección que aplican son; semimecanizado, de parada y de acera.

Según la información que obra en archivos del Departamento del Servicio de Limpia (2016), las localidades atendidas por el servicio de recolección de basura son 149,

que representan el 83% del total (García Vargas M.C.1, Rangel García E.I.2, & García Arreola A.3).

En el municipio se cuenta con 10 camiones municipales y 27 concesionados que atienden de la siguiente manera al municipio:

Tabla 1.5 Tipo de Transporte de Residuos del Municipio de Zitácuaro, Michoacán.

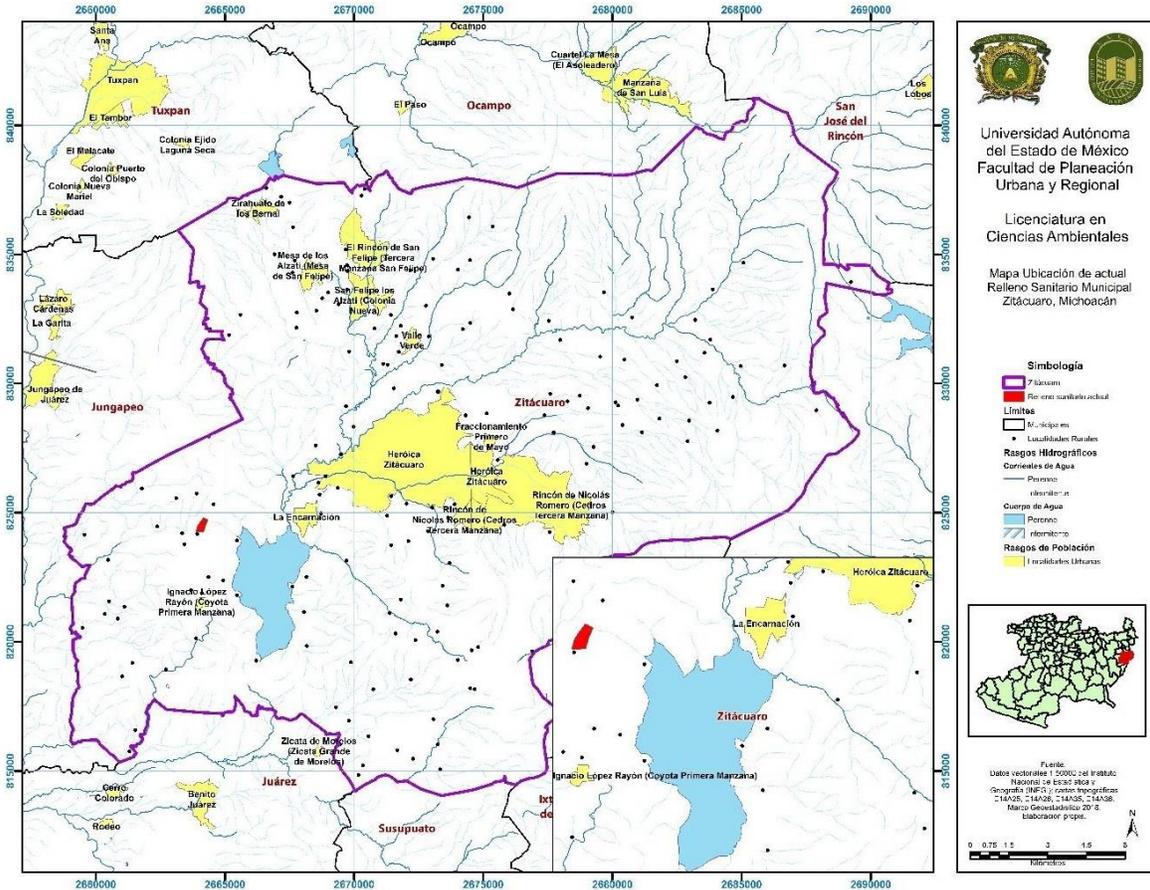
SERVICIO MUNICIPAL	SERVICIO CONCESIONADO	SERVICIO MIXTO	NO CUENTAN CON SERVICIO	TOTAL
52% de la población	21% de la población	10% de la población	17% de la población	100%

Fuente: Elaboración propia con información de (García Vargas M.C.1, Rangel García E.I.2, & García Arreola A.3).

Transferencia: El municipio cuenta con contenedores en plazas, mercados y tenencias que cuando llegan a su máxima capacidad se llevan a un sitio de transferencia que no está definido como tal, solo es un almacén para estos contenedores y para los residuos que recaudan lo barrenderos.

Disposición Final: El tiradero municipal se encuentra aproximadamente a 11kilómetros de la zona urbana y se gastan alrededor de 30,000 pesos semanales en gasolina de los 10 camiones municipales, sin tomar en cuenta los 27 concesionados, es por ello que existe una problemática grave sobre todo en esta etapa del manejo de residuos, ya que algunos camiones concesionados prefieren depositar los residuos a cielo abierto por la distancia y el gasto que genera, aparte de ese grave problema, el actual tiradero municipal no cumple con la normatividad ambiental y se está buscando un nuevo lugar de acuerdo al plan de desarrollo municipal, lo único que se está haciendo es crear nuevas celdas alrededor del tiradero municipal que no son bien utilizadas.

Imagen 1.7 Mapa Ubicación del Actual Relleno Sanitario del Municipio de Zitácuaro, Michoacán.

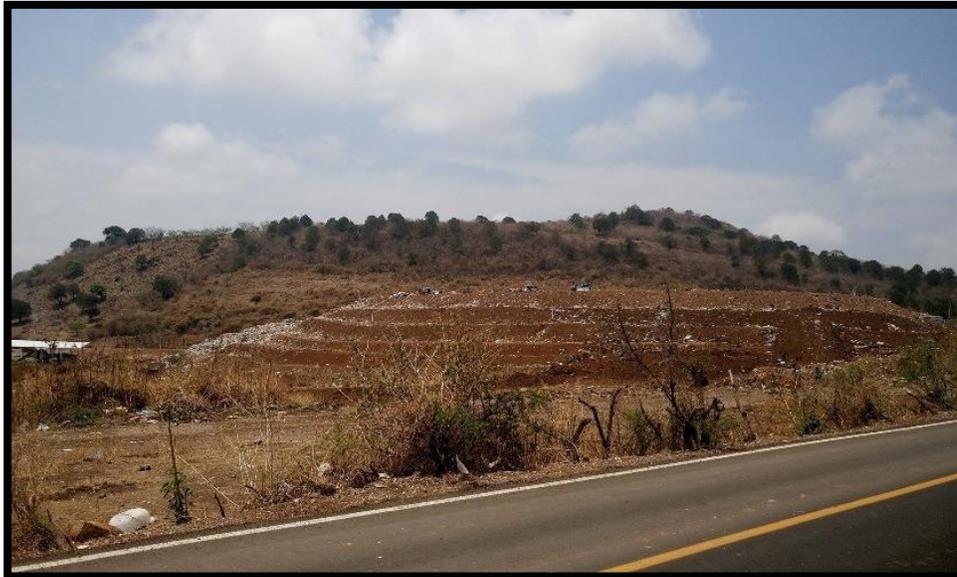


Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

En la Imagen anterior (ver anexo de mapas) se muestra la ubicación actual del relleno sanitario, el cual no cumple con la normatividad aplicable, lo que se encontró a simple vista en la visita de campo, no rellenan el volumen necesario de tierra, no tienen capa de membrana para evitar infiltración de lixiviados, el tiradero se encuentra ubicado a pie de carretera, no funciona la báscula y no implementan métodos de separación, sin embargo gran parte de los residuos se llevan a este sitio aunque se encuentra alejado de la zona urbana, pero desafortunadamente no se toman en cuenta los daños al medio ambiente, puesto que de acuerdo a una entrevista aplicada a las autoridades encargadas del sitio, no se elaboraron estudios previos para la ubicación de este actual sitio.

En las siguientes imágenes se pueden observar los detalles mencionados.

Imagen 1.8 Fotografía Relleno Sanitario Actual de Zitácuaro, Michoacán.



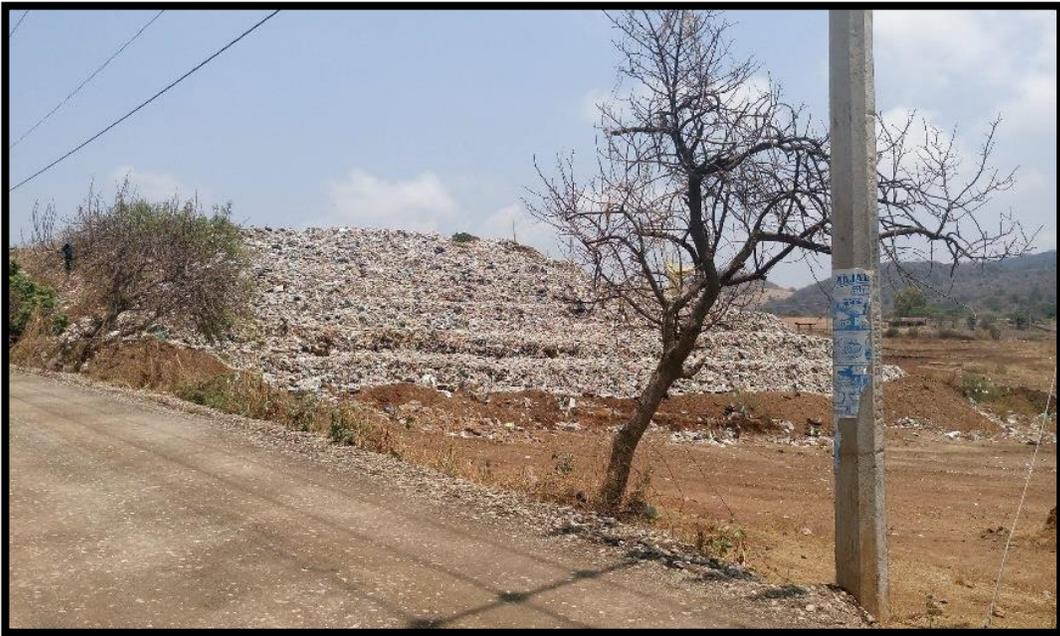
Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2017.

Imagen 1.9 Fotografía Relleno Sanitario Actual de Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2017.

Imagen 1.10 Fotografía Relleno Sanitario Actual de Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2017.

Imagen 1.11 Fotografía Relleno Sanitario Actual de Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2017.

En las fotografías anteriores se aprecia el actual relleno sanitario el cual no se encuentra operando con las especificaciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003, el terreno tiene más de veinte años de uso para este fin y cada vez que se satura una celda realizan una nueva excavación a la cual no le ponen ningún tipo de protección para evitar filtración de lixiviados y depositan ahí los residuos, problema evidente por el cual es necesario proponer un sitio adecuado para ubicar un relleno sanitario en este municipio y por lo cual se realizará una investigación de casos de éxito en los que se encontraron lugares óptimos para ubicar un SDF mismos que se describen en el capítulo siguiente.

En este capítulo se describió el área de estudio, sus rasgos físicos y biológicos algunos de los cuales van a intervenir como variables en la metodología así mismo se llevó a cabo el análisis del estado actual del tiradero municipal y del proceso de manejo de residuos, que mostró deficiencias y mal manejo, situación que interviene de manera importante en el deterioro del medio ambiente y puede causar daños a la salud así como contaminación severa a un cuerpo de agua importante a la cual llegan corrientes de agua de este municipio y que abastece al sistema Cutzamala, que es la “presa el bosque”.

Por otra parte, la caracterización de las etapas del manejo de residuos sólidos se basó en una visita de campo al relleno sanitario actual y una encuesta aplicada al departamento de limpia y recolección del Ayuntamiento del municipio.

Capítulo II Antecedentes

Para esta etapa del proyecto, se llevó a cabo una investigación de trabajos y artículos relacionados con el tema central de nuestro proyecto en los ámbitos internacional, nacional, estatal y municipal.

2.1 Ámbito Internacional

A nivel internacional se encontraron diversos estudios en donde se aplican distintas metodologías referentes al uso de Sistemas de Información Geográfica, para ubicar rellenos sanitarios y se describen a continuación.

- **Área metropolitana del alto Paraná, Paraguay**

Giménez Vera y Cardozo Carrera (2012), proponen en su investigación un análisis para la localización óptima para un relleno sanitario mediante técnicas multicriterio en un SIG (Sistema de Información Geográfico), en los Distritos de Hernandarias, Ciudad del Este, Minga Guazú y Presidente Franco (Alto Paraná), estableciendo las características y criterios apropiados para el fin señalado, localizando las áreas probables para su instalación y representando los resultados mediante cartografía temática, en su investigación se elaboró un modelo cartográfico donde se expresan los datos de entrada, procedimientos espaciales aplicados en el SIG, con la utilización del Software Arc View, y los valores asignados a cada criterio de exclusión, determinando así las áreas óptimas para implementar relleno sanitarios.

En su resultado después del análisis multicriterio, fueron seleccionadas 6 (seis) parcelas ubicadas en el Distrito de Minga Guazú, con superficies de; 16, 20, 21, 28 y dos de 17 hectáreas.

En conclusión, se pudieron determinar los lugares óptimos para localizar rellenos sanitarios utilizando técnicas de SIG, así mismo fue posible la elaboración de mapas temáticos del área de estudio y de las parcelas seleccionadas (Giménez Vera & Cardozo Carrera, 2012).

- **Parral, Chile**

Mena Frau y colaboradores en el año 2010 realizaron la localización de un relleno sanitario a través de evaluación multicriterio, ellos compararon dos métodos de evaluación multicriterio (EMC), la sumatoria lineal ponderada y la sumatoria lineal ponderada ordenada, aplicadas en la evaluación de sitios idóneos para la localización óptima de un relleno sanitario en la comuna de Parral, Región del Maule, Chile. Se utilizó un sistema de información geográfica raster y una base de datos cartográfica digital de la comuna. La evaluación de los distintos criterios se realizó a través del método de las jerarquías analíticas (MJA), lo que permitió definir la importancia relativa de cada criterio dentro de la evaluación. Los resultados obtenidos muestran claras diferencias entre los modelos de acogida generados por cada uno de los métodos, representando distintos escenarios de decisión.

Ellos consideran que la integración de los SIG y EMC constituye una herramienta útil en la ordenación territorial, ya que en conjunto permiten la obtención de modelos y escenarios futuros, útiles para apoyar las labores de toma de decisiones por parte de los planificadores.

En el caso puntual de problemas de localización/asignación de un relleno sanitario, la utilización de los SIG y EMC permiten agilizar el proceso de selección de zonas aptas para dicho equipamiento, al acotar las áreas de selección, considerando un número importante de criterios y restricciones (Mena Frau, Morales Hernández, Ormazábal Rojas, & Gajardo Valenzuela, 2010).

- **Oeste del Valle Central, Costa Rica**

Badilla y otros autores en el año 2008, definieron sitios aptos para el desarrollo de grandes rellenos sanitarios regionales, con el fin de contribuir con las municipalidades en la búsqueda de una solución definitiva a la problemática del manejo de basura.

En la investigación se establecieron lineamientos básicos para determinar la aptitud de sitios para la disposición de desechos, considerando la distancia a áreas protegidas, ríos, rutas de acceso y poblados, así como la topografía, geología,

hidrogeología, tenencia de la tierra y regulaciones territoriales, entre otros. Se lleva a cabo una selección preliminar de sitios con la ayuda de SIG, combinando mapas parámetro binarios mediante funciones de sobreposición.

Aunque su metodología no fue compleja, la ayuda de herramientas de SIG logró como resultado proponer tres sitios aptos con un área superior a 50 hectáreas (Badilla, Rojas, & Vargas, 2008).

- **Puerto Rico**

Ferdinand Quiñones (1995), a través de un estudio exhaustivo en el Municipio de Salinas para identificar la ubicación más apropiada para un relleno sanitario regional (RSR). El estudio fue efectuado usando un Sistema de Información Geográfico (SIG), llevado a cabo en cooperación con GeoData, Inc. El análisis consideró los criterios para localización de facilidades para el manejo de desperdicios sólidos establecidos por el Reglamento para el Manejo de Desperdicios Sólidos No-Peligrosos (RMDSNP) de la Junta de Calidad Ambiental (JCA) de Puerto Rico, así como los criterios establecidos por la Agencia de Protección Ambiental Federal (USEPA) incluyendo: localización de fallas geológicas, distancia de los aeropuertos, áreas susceptibles a inundación y/o deslizamiento, y localización de humedales. Otros factores utilizados en el análisis incluyeron: pozos de abasto de agua, comunidades, reservas naturales, bosques estatales, especies amenazadas y en peligro de extinción, pendientes del terreno, infraestructuras de derechos de pasos, y cuerpos superficiales de agua.

Obtuvieron como resultado un mapa o una serie de mapas donde se excluyen todos los lugares donde podrían ocurrir impactos ambientales. Los lugares más apropiados fueron claramente identificados en los mapas (Ferdinand Quiñones, 1995).

Tabla 2.1 Metodología Utilizada en Ámbito Internacional.

SITIO	ÁREA METROPOLITANA DEL ALTO PARANÁ, PARAGUAY	PARRAL, CHILE	OESTE DEL VALLE CENTRAL, COSTA RICA	PUERTO RICO
Herramientas y variables utilizadas	Análisis multicriterio - Arc View	Evaluación multicriterio -sumatoria lineal ponderada -método de las jerarquías analíticas	Combinación de mapas y parámetros binarios mediante funciones de sobreposición	-Análisis multicriterio - GeoData

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Ámbito Nacional

A nivel nacional, existen distintos trabajos en donde fueron utilizadas las herramientas de SIG, en los siguientes apartados se mencionan las investigaciones encontradas.

- **Oaxaca, México**

Marisol Alfonso en el año 2016, busca un sitio para depositar los residuos sólidos en el estado de Oaxaca, con el fin de minimizar los impactos ambientales actuales para mejorar las condiciones de vida, para dicho análisis se apoya de un modelo de decisiones de soportes espaciales, que son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el cual le ayudo a facilitar los procesos sin tener que ir al área de estudio.

Para este estudio fue necesario determinar el estado más desfavorable en cuanto a la disposición de sus residuos en sitios controlados, es decir, sitios que cumplieran con la normativa vigente, dicho estado sería el caso de estudio del trabajo. Después se evaluó con ayuda de un Sistema de Información Geográfica, las restricciones establecidas en la norma NOM 083- SEMARNAT-2015, para poder proponer un sitio de disposición final, esto se basó en calificaciones que van de la escala del 0 al 1.0,

donde 0 es el caso más desfavorable y el 1.0 es la mejor calificación considerando que es el caso más óptimo y así se calificaron criterios requeridos, en esta parte se introdujeron las capas temáticas en el programa ArcGIS para obtener una capa final que mostrara los sitios aptos y no aptos para la ubicación del sitio final.

Los resultados obtenidos con el apoyo del programa ArcGIS, permitieron realizar un análisis para la selección de un sitio intermunicipal óptimo de disposición final de residuos (Romero Marisol, 2016).

- **Estado de México**

Rodríguez y Salinas (2006), publicaron “Selección primaria de zonas para la construcción de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial” , para su proyecto crearon un instrumento de apoyo para la planeación ambiental con el fin de apoyar la selección de aquellas zonas que son aptas para la construcción de sitios de disposición final para residuos sólidos urbanos y de manejo especial, analizan cada uno de los elementos que conforman el sistema amplio de restricciones, las fuentes de información requeridas y establece un criterio para la ubicación de sitios.

A partir de esta información básica generan un modelo de aplicación que procesa la información cartográfica con el fin de generar un sistema de información geográfica que permita determinar un conjunto de sitios que no violentan ninguna restricción señalada en la NOM-083-SEMARNAT-2003, además de sitios que presentan algunas restricciones y otros en donde es necesario efectuar más estudios técnicos para determinar su situación potencial para ser utilizados como sitios para la disposición final de residuos sólidos, este estudio se aplica en el Valle de Toluca, pero su finalidad es dar una solución a todos los municipios que lo necesiten (Rodríguez & Salinas, 2006).

- **Biósfera el Vizcaíno, B.C.S**

Mientras tanto Rodríguez (2003), en su investigación pretende ubicar sitios cuyas características sean óptimas ambiental y económicamente para la disposición final de los residuos sólidos, su área de estudio fue de 3,053.61 km², para ello utilizó un

sistema de información geográfica para la generación, clasificación, sobreposición y cálculo de mapas, con los cuales elaboró un procedimiento de ponderación mediante comparación de factores, utilizando el método de evaluación multicriterio, que consistió en una matriz de seis factores donde cada uno de ellos fue comparado y calificado entre sí de mayor a menor importancia y revisado por conocedores del área de estudio, así mismo fueron incorporados los respectivos criterios ambientales para identificar los sitios potenciales.

Con los resultados obtenidos se creó un rango óptimo para la ubicación de los sitios de disposición final, el resultado final de la evaluación de los sitios potenciales a través del análisis multicriterio permitió seleccionar las tres mejores opciones para ubicar un relleno sanitario (Rodríguez Villeneuve, 2003).

Tabla 2.2 Metodología Utilizada en Ámbito Nacional.

SITIO	OAXACA, MÉXICO	ESTADO DE MÉXICO	BIÓSFERA EL VIZCAÍNO, B.C.S
Herramientas y Variables utilizadas	Se introdujeron las capas temáticas en el programa ArcGIS y por medio de restricciones se calificó en escala del 0 al 1.0, donde 0 es el caso más desfavorable y el 1.0 es la mejor calificación, para obtener una capa final que mostrara los sitios aptos y no aptos para la ubicación del sitio final.	Método de análisis de restricciones que marca la NOM-083-SEMARNAT-2003.	Se utilizó la sobreposición y cálculo de mapas, con los cuales elaboró un procedimiento de ponderación mediante comparación de factores, utilizando el método de evaluación multicriterio.

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Ámbito Estatal y/o Municipal

En el estado de Michoacán se encontró registro de dos proyectos de implementación de rellenos sanitarios que se describen en los siguientes apartados, en cuanto al municipio no se obtuvo información acerca de la implementación de rellenos sanitarios apegados a la normatividad establecida.

- **Zinapécuaro, Michoacán**

Juan Manuel Sánchez Nuñez y colaboradores en el año 2008, buscaron proponer la ubicación de un relleno sanitario en el municipio de Zinapécuaro, basándose en criterio ambientales y geológicos básicos estipulados en la NOM-083-SEMARNAT-2003 y algunas Normas Técnicas Mexicanas, se caracterizó el relleno sanitario como tipo “C” de acuerdo a un estudio elaborado acerca de la generación per cápita de los residuos generados, para el muestreo de residuos, se utilizó como referencia la Norma Mexicana NMX-AA-015-1985 que establece el método de cuarteo para residuos sólidos urbanos y la Norma Mexicana NMX-AA-019-1985, que establece el método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos, en su estudio identificaron cuatro unidades litológicas: rocas basálticas y depósitos volcanoclásticos del Terciario Superior y Cuaternario; así como depósitos lacustres y aluviales del Cuaternario que coronan la secuencia litológica, su investigación se interesaron en aprovechar estructuras abandonadas de minas, así que resultó el sitio Francisco Villa, que cumplió con las especificaciones técnicas que marca la normatividad para un sitio tipo C (Sanches Nuñez, y otros, 2008).

- **Región del Bajío Michoacano**

En el ámbito municipal Silva y colaboradores (2006), proponen una metodología encaminada a la localización de sitios ambientalmente seguros para la disposición de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), que deberán cumplir con todos los requerimientos indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SE-MARNAT-2003, como son: afectaciones a obras civiles (autopistas, aeropuertos, oleoductos, gasoductos, torres de energía eléctrica, áreas naturales protegidas), distancias

mínimas a poblaciones, cuerpos de agua, zonas de inundación, fallas geológicas, taludes inestables e hidrogeología.

Esta investigación se realizó en la región del Bajío Michoacano, comprendiendo los municipios de Zináparo, Numarán, Penjamillo, Ecuandureo, Churintzio y La Piedad.

La investigación consistió en el análisis de cada uno de los factores anteriores, que se realizaron en áreas de 0.25 km²; a cada factor se le asignó un rango y peso, integrándolos posteriormente en rangos normalizados en escala de 0-1. Los pesos varían de 1 a 5 y representan la influencia en el impacto ambiental y social del factor considerado, siendo el valor de 5, el de mayor relevancia y 1 el de menor impacto. El proceso de la información implicó álgebra de mapas para obtener como producto final un mapa paramétrico denominado Índice de Riesgo Ambiental (IRA). Los valores obtenidos estuvieron en el rango de 16-160, proponiéndose con ello, seis niveles de riesgo ambiental que son: Extremadamente alto, Muy alto, Alto, Medio, Bajo y Muy bajo.

Esta metodología permitió establecer los lugares óptimos donde se puede ubicar un relleno sanitario (Silva, Estrada, Ochoa, & Cruz, 2006).

Tabla 2.3 Metodología Utilizada en Ámbito Estatal y/o Municipal.

SITIO	ZINAPÉCUARO, MICHOACÁN	REGIÓN DEL BAJÍO MICHOACANO
Herramientas y Variables utilizadas	-Método de cuarteo -Método de peso volumétrico -identificación de unidades litológicas	-Álgebra de mapas -Mapa de Índice de Riesgo Ambiental

Fuente: Elaboración propia.

En este capítulo se describieron casos de éxito en la búsqueda de zonas óptimas para ubicar sitios de disposición final; a nivel internacional se rigieron por leyes estatales y tomaron en cuenta variables para la conservación ambiental como bosques, tenencia de la tierra, geología, pozos de abasto de agua, comunidades, reservas naturales, especies amenazadas y en peligro de extinción, pendientes del

terreno, infraestructuras de derechos de pasos, cuerpos superficiales de agua, entre otras y de las cuales se consideraron la mayoría de las variables puesto que también son indicadas en la normatividad a la que nos estamos apegando, un dato importante que se retomó e implementó en este proyecto fue el porcentaje de pendiente que utilizaron en dos de los casos ya que a través de su investigación sustentan razones importantes por las que la pendiente toma una parte fundamental de la toma de decisión de donde ubicar un sitio de disposición final.

A nivel nacional y estatal la mayoría de los casos se rigieron por lo establecido en la NOM-083-SEMARNAT-2003, norma que se considera en este proyecto, en uno de los casos se destacó como importante considerar la edafología y geología de acuerdo a sus características debido a la capacidad de infiltración que pueden tener y el peligro de contaminación por lixiviados, variables que tomamos en cuenta y aplicamos en la metodología explicada más adelante. Cabe mencionar que en los dos ámbitos y en cada uno de los estudios se obtuvieron al menos tres sitios en donde era óptimo en cuanto a criterios de la norma ubicar un relleno sanitario.

En todos los casos anteriormente mencionados se utilizaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica y en su mayoría se utilizó la metodología de “análisis multicriterio”, misma que se utilizará para cumplir con los objetivos de este trabajo de investigación ya que es una herramienta que demostró a través de las investigaciones ya descritas en los antecedentes que permite involucrar diversas variables dependiendo del problema que se presente y proporciona resultados claros que podemos evaluar de una manera sencilla para poder tomar una decisión y dar solución a un fin en específico que en este caso es encontrar zonas óptimas en donde ubicar un sitio de disposición final que no cause daños a la salud y no contribuya con el deterioro al medio ambiente.

En este capítulo abordamos casos de éxito de los cuales retomamos algunos criterios, normas y metodologías que nos servirán para dar solución a esta investigación, de los cuales es necesario comprender significados y conceptos para entender de manera propia lo descrito en este documento y éstos se describen en el siguiente apartado.

Capítulo III Marco Conceptual

Tener un conocimiento general de los contenidos y conceptos que se incluyen en el proceso de este trabajo nos será útil para entender mejor lo que se va desarrollando en la investigación, lo cual engloba todo el proceso de gestión de residuos y disposición final, así como argumentos referentes al desarrollo metodológico del mismo, por lo que en este capítulo se abordará la conceptualización de palabras, un glosario y textos que describan los temas tratados.

Antes de abordar el tema de manejo de residuos es necesario conocer las siguientes definiciones.

3.1 Conceptualización

Acuífero: Es una formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo (Inventario Nacional de Humedales México, 2012).

Agua subterránea: Esta agua está contenida en los huecos interconectados de las rocas, también llamado espacio intersticial (Inventario Nacional de Humedales México, 2012).

Contaminación Ambiental: Esta situación es caracterizada por la presencia en el medio ambiente de uno o más elementos nocivos, en tal forma combinados que, atendiendo a sus características y duración, en mayor o menor medida causan un desequilibrio ecológico y dañan la salud y el bienestar del hombre, perjudicando también la flora, la fauna y los materiales expuestos a sus efectos (CRID centro regional de información sobre desastres america latina y el caribe, 2008).

Deterioro Ambiental: Son los procesos inducidos por acciones y actividades humanas que dañan la base de recursos naturales o que afectan de manera

adversa procesos naturales y ecosistemas, reduciendo su calidad y productividad (CRID centro regional de información sobre desastres america latina y el caribe, 2008).

Disposición Final: De acuerdo con la LGPGIR es la acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

LGPGIR: Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Lixiviado: Son sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos (LGPGIR, 2013).

Medio Ambiente: Es todo aquello que rodea al ser humano y que comprende: elementos naturales tanto físicos como biológicos, artificiales, sociales y las interacciones de todos estos elementos entre sí (Guiza & Sánchez, 1986).

Plan de Manejo de Residuos: Es un instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos específicos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, diseñado bajo principios de responsabilidad compartida y manejo integral que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de productos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno (LGPGIR, 2013).

Residuo: Es aquel material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere

sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven (LGPGIR, 2013).

Sustentable: se refiere al uso o explotación de un recurso mediante un proceso de extracción, transformación, o valoración que permite o promueve su recuperación, de modo que garantiza su renovación y permanencia en el largo plazo (Ramirez Treviño, Sánchez Nuñez, & García Camacho, 2004).

Tiradero a Cielo Abierto: Instalación utilizada tradicionalmente para la disposición final de residuos en México que incluye Sitios de Disposición Final de residuos controlados y no controlados (SEMARNAT Dirección general de fomento ambiental, urbano y turístico, 2015).

3.2 Manejo de Residuos Sólidos

El manejo de residuos sólidos conforma uno de los problemas más graves para las ciudades, ya que los hábitos de consumo, el crecimiento poblacional concentrado en la zona urbana y el desarrollo industrial incrementan en gran manera la generación de residuos sólidos.

Se entiende como manejo de residuos sólidos a la adopción de pasos prácticos necesarios para asegurar que no se provoquen efectos adversos en la salud o en el ambiente como resultado de dicho manejo (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2001).

El manejo en general de los residuos sólidos involucra desde la generación y flujo de residuos, métodos de recolección, transporte, transferencia, sistemas de separación, valorización, aprovechamiento, hasta la disposición final, de los cuales derivan beneficios ambientales, sociales y económicos (Chávez Vasavilbaso, 2014).

Antes de describir las etapas que conforman el manejo de residuos, es importante conocer la clasificación de los mismos, que se describen a continuación:

El objetivo de la clasificación de los residuos es dar a conocer a los generadores el estado físico, las propiedades y las características inherentes de los residuos, dicha

clasificación se lleva a cabo atendiendo a dichos aspectos, para que, en función de sus volúmenes, formas de manejo y concentración, anticipen su comportamiento en el ambiente, la probabilidad de que ocasionen o puedan ocasionar efectos adversos a la salud y/o al ambiente (SEMARNAT, 2017).

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos clasifica los residuos sólidos de la siguiente manera:

- **Residuos Peligrosos:** Son aquellos que poseen algunas de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad; así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.
- **Residuos de Manejo Especial:** Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.
- **Residuos Sólidos Urbanos:** Son los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes y empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos (SEMARNAT, 2017).

Para llevar a cabo una buena gestión de residuos es necesario poner cuidado y analizar detalladamente cada una de las etapas del manejo de residuos que se mencionan y describen en los siguientes párrafos.

3.2.1 Generación de Residuos Sólidos

La generación de residuos conforma la primera etapa del manejo de residuos, se relaciona con todas las actividades realizadas por el ser humano, crecimiento poblacional, cambios en patrones de consumo, incremento de las actividades

comerciales e industriales, incluso condiciones climáticas, que ocasiona que se incremente la producción de residuos sólidos.

Se ha incrementado a nivel mundial el consumo de productos procesados que elevan de manera considerable la tasa de generación per cápita por habitante diaria, actualmente en México se generan 1.38 kg/habitante/día (Sáez, Urdaneta G, & Joheni A, 2014).

3.2.2 Composición de residuos sólidos

Dentro de los residuos sólidos urbanos pueden englobarse un sinnúmero de materiales que deben conocerse en profundidad para gestionarlos correctamente. La evolución experimentada por la sociedad ha hecho que los residuos orgánicos, tradicionalmente la fracción mayoritaria, hayan dado paso a otros productos nuevos, especialmente procedentes de los envases y embalajes.

Materia orgánica. Restos de comida, de jardinería y otros materiales fermentables constituyen el principal componente de los residuos, que tiende a disminuir en las sociedades más desarrolladas.

- **Vidrio.** Botellas, envases de alimentos, etc. La recogida diferenciada de esta fracción está cada vez más extendida.
- **Papel y cartón.** Periódicos, papel en general, cajas y envases. Esta fracción ha experimentado importantes incrementos en los últimos años y su recogida en origen está en expansión.
- **Plásticos.** Botellas y envases para líquidos, envases y embalajes. Bajo este nombre se agrupan diferentes polímeros que, en general, pertenecen a alguno de los grupos que se relacionan a continuación: Policloruro de vinilo, polietileno tereftalato, polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, polipropileno y poliestireno. La recuperación y reciclaje de los materiales plásticos aún no está generalizada.

- **Otros componentes.** Madera, cenizas, textiles, goma, latas metálicas, etc.

Cuanto más desarrollado es un país, mayor es la tendencia a consumir los bienes elaborados reduciendo la fracción típicamente orgánica e incrementando las fracciones complementarias de vidrio, papel, cartón y plásticos. Esta misma tendencia también se observa cuando se analizan las diferencias entre las grandes urbes y las localidades y pueblos que las rodean (Ambientum, 2019).

La información referente a la cantidad de residuos sólidos generados por una región y la caracterización de los mismos constituye una herramienta para la planificación del proceso de recolección de residuos sólidos y el diseño de los sistemas de eliminación a utilizar (Sáez, Urdaneta G, & Joheni A, 2014).

La información sobre la composición de los residuos sólidos es importante para evaluar las necesidades de equipo, los sistemas y los programas y planes de gestión.

3.2.3 Separación de Residuos Sólidos

La separación de residuos desde el origen consiste en la clasificación en diferentes componentes de los residuos sólidos en la fuente de generación, se sugiere separar en material de compostaje (residuos de alimentos), materiales combustibles (fibra y papel) y materiales reciclables (metales y vidrios) para luego ser recolectados y enviados a los destinatarios adecuados (Sáez, Urdaneta G, & Joheni A, 2014).

3.2.4 Recolección y Transporte de Residuos Sólidos

La recolección de residuos sólidos se define como el conjunto de actividades que incluye la recogida y transporte de los residuos sólidos desde los sitios destinados para su depósito o almacenamiento por parte de los generadores hasta el lugar donde serán descargados, este lugar puede ser una instalación de procesamiento de materiales, de tratamiento, una estación de transferencia o un relleno sanitario.

Para esta actividad y para la disposición final, las empresas/municipios destinan la mayor parte de su presupuesto (Sáez, Urdaneta G, & Joheni A, 2014).

3.2.5 Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos

Una vez recolectados los residuos deben ser procesados y tratados para finalmente ser colocados en los lugares destinados para su disposición final. El procesamiento se realiza con la finalidad de separar objetos voluminosos, separar los componentes de los residuos, la reducción de tamaño (trituración), separar metales ferrosos y la reducción de volumen (compactación). Mientras que los procesos de tratamiento buscan reducir el volumen y peso de los residuos y la recuperación de subproductos.

Una práctica común es la transformación de los residuos orgánicos en compost o abono orgánico a través de un proceso biológico denominado compostaje. Otro proceso muy utilizado es la incineración, la cual es un método de reducción química del volumen de los residuos, la tendencia en países desarrollados es la de utilizar la incineración con recuperación de energía en forma de calor (Sáez, Urdaneta G, & Joheni A, 2014).

Esta última etapa de disposición final de residuos consiste prácticamente en depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos (SEMARNAT, s.f.).

Es importante considerar el manejo adecuado de los residuos, sobre todo en su disposición final ya que éstos tienen una estrecha relación con la salud humana y el ambiente, la disposición final no adecuada puede ocasionar transmisión de enfermedades bacterianas, infecciones por objetos punzocortantes y daños irreversibles a cuerpos de agua, aire y suelo, para ello es necesario implementar un adecuado sitio de disposición final como un relleno sanitario que en seguida se explica en que consiste.

3.3 Relleno Sanitario

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

Actualmente, el relleno sanitario moderno se refiere a una instalación diseñada y operada como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control (Jaramillo, 2002).

Datos como recepción de residuos sólidos generados en un sitio, se deben considerar para reconocer el tipo de relleno sanitario (tabla 3.1).

Tabla 3.1 Tipos de Relleno Sanitario.

SITIO		RECEPCIÓN DE RESIDUOS
TIPO		TON/DIA
A	A1	Mayor de 750
	A2	100-750
B		50-100
C		10-50

Fuente: Elaboración propia con información de NOM-083-SEMARNAT-2003.

Los rellenos sanitarios traen beneficios tanto a los habitantes del sitio como al medio ambiente, las ventajas más sobresalientes, se mencionan a continuación:

- Recuperación de zonas degradadas.
- Bajo consumo energético.
- Inversiones más bajas.
- Posible utilización energética del metano producido.

El relleno sanitario es el método de disposición final más utilizado, ya que por su relación costo -beneficio es una alternativa factible dada la realidad económica de los municipios. Para este tipo de servicio el incremento de los volúmenes incide en la reducción de los costos, favoreciéndose la utilización de rellenos regionales.

A nivel nacional, el 64% de los residuos generados se depositan en 88 instalaciones ya sea rellenos sanitarios o sitios controlados, y de ellos 49% son municipales y 18% regionales y 33% son operados por la iniciativa privada.

Los rellenos sanitarios se regulan por la NOM- 083-SEMARNAT-2003 (que se explicara en el marco normativo de este documento), que establece las condiciones para su ubicación, diseño, construcción, operación y monitoreo. Aunque no existen cifras oficiales, en todo el país no son más de 30 los sitios que cumplen con esta norma, garantizando la no contaminación del subsuelo y mantos acuíferos y el correcto manejo de los lixiviados y gases generados (Chávez Vasavilbaso, 2014).

Abordado el tema referente al manejo de residuos, se continúa retomando lo que concierne al tema de los Sistemas de Información Geográfica SIG, herramientas que se usaran para implementar la metodología de esta investigación y razón por la que hay que entender los siguientes temas.

3.4 Base de Datos Geográfica

Una base de datos geográfica es una colección de datos organizados de tal manera que sirvan efectivamente para una o varias aplicaciones principalmente en los sistemas de información geográfica SIG, que se explica su utilidad más adelante. Esta base de datos comprende la asociación entre sus dos principales componentes: datos espaciales (localización geográfica), y atributos o datos no espaciales (temática, características o variables) (Catarina, 2017).

La construcción de una base de datos geográfica implica un proceso de abstracción para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada que pueda ser procesada por el lenguaje de las computadoras actuales. Este proceso de abstracción tiene diversos niveles y normalmente comienza con la concepción

de la estructura de la base de datos, generalmente en capas; en esta fase, y dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información a compilar, se seleccionan las capas temáticas a incluir (Instituto Geográfico Nacional REPUBLICA ARGENTINA, 2012).

Los datos geográficos, presentan la información en representaciones subjetivas a través de mapas y símbolos, que representan la geografía como formas geométricas, redes, superficies, ubicaciones e imágenes, a los cuales se les asignan sus respectivos atributos que los definen y describen, esto se logra con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que se explicaran en seguida.

3.5 Conceptos Básicos de SIG

Antes de definir los Sistemas de Información Geográfica (SIG), es necesario aclarar los conceptos básicos involucrados en el tema a través del glosario siguiente.

Dato (s): Es una colección de hechos considerados de forma aislada. Ejemplo: en la división político-administrativa de Colombia se cuenta con 32 departamentos y 1.099 municipios.

Geografía: Es la ciencia que se ocupa de analizar las relaciones del hombre con su medio natural, identifica y caracteriza secciones del espacio (territorios, regiones, ciudades, paisajes y localidades). Esto le permitirá ofrecer métodos y técnicas de análisis específicos para dar respuesta a los problemas del ordenamiento territorial.

Información: Es el conjunto de datos arreglados y ordenados en forma útil.

Información geográfica o geoinformación: Es información con un componente geométrico (espacial) que describe la localización de los objetos en el espacio y las relaciones espaciales entre ellos, un componente temático que recoge sus características descriptivas (atributos) y un componente temporal (tiempo).

Sistema: Es una reunión o conjunto de elementos relacionados que interactúan entre sí para lograr un fin determinado.

Sistema de Información (SI): Es una disposición de personas, actividades, datos, redes y tecnologías integradas entre sí con el propósito de apoyar y mejorar las

operaciones cotidianas de una empresa, así como satisfacer las necesidades de información para la resolución de problemas y la toma de decisiones por parte de los directivos.

Descritos dichos conceptos por (Delgado, 2014) , podemos continuar con la descripción y composición general de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

3.6 Sistemas de Información Geográfica SIG

Un sistema de información geográfica (SIG) es un “conjunto de programas, equipamientos, metodologías, datos y personas (usuarios), perfectamente integrado, de manera que hace posible la recolección de datos, almacenamiento, procesamiento y análisis de datos georreferenciados, así como la producción de información derivada de su aplicación” (Instituto Geográfico Nacional REPUBLICA ARGENTINA, 2012).

Cuando se habla de datos georreferenciados, se trata de datos referidos a una posición con respecto a un sistema de coordenadas terrestres. La tecnología de los SIG busca articular las bases de datos gráficas con las bases de datos alfanuméricas que representan los diferentes rasgos del territorio, tales como caminos, cursos de agua, asentamientos poblacionales, actividades económicas, etc.

Los ámbitos en que pueden ser aplicados los SIG son muy diversos, y generalmente son implementados en entornos de trabajo interdisciplinarios. Hay ejemplos de utilización de SIG en cartografía, investigaciones científicas, planificación de políticas públicas, gestión ambiental del territorio, marketing, logística, demografía, sólo por citar algunos casos.

Los SIG modelan la realidad territorial para convertirla en datos geográficos que son manipulados en un entorno informatizado. Para ello utilizan los modelos de representación ráster y vectorial (Instituto Geográfico Nacional REPUBLICA ARGENTINA, 2012).

Para hacer posible la creación y utilización de los SIG es necesario utilizar un software que procese esta información, mismo que se describirá en seguida y que será utilizado para implementar la metodología de esta investigación.

3.7 Software ARC GIS

ArcGIS es un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Este software es utilizado para crear y utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG) (ESRI, 2019).

ArcGIS se utiliza para trabajar con información geográfica y aplicarla. Utilizar mapas para trabajar con información geográfica, permite a los usuarios comprender la información de su organización, las herramientas de análisis, tareas y flujos de trabajo, las cuales se utilizan para trabajar en forma más eficiente.

La plataforma ArcGIS facilita la creación, uso, descubrimiento y compartición de datos geográficos e información asociada, la cual puede ser utilizada desde cualquier dispositivo.

Este software reúne información y da resultados que nos permiten analizar modelos, tomar decisiones y extraer información importante, permitiendo que se pueda utilizar en una gran gama de ámbitos, como ciencia, educación, negocios, gobiernos, entre otros ámbitos (ESRI, 2019).

En el caso de estudio utilizaremos este software descrito anteriormente, este programa nos permitirá recopilar y analizar información geográfica del municipio estudiado en este proyecto para así aplicar una metodología la cual será “análisis multicriterio” que se explica posteriormente, esperando obtener un resultado positivo que dé respuesta a este proyecto y se permita un mejor análisis de información a través de la obtención de mapas de las diferentes variables que pide como requerimiento la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 para buscar un sitio óptimo en el municipio en donde se pueda ubicar un relleno sanitario.

3.8 Análisis Multicriterio

La Comisión Nacional de la Biodiversidad en su taller para la conservación ambiental en el año 2013, define el “análisis multicriterio” como una herramienta de apoyo en la toma de decisiones durante el proceso de planificación que permite

integrar diferentes criterios de acuerdo a la opinión de actores en un solo marco de análisis para dar una visión integral.

Esta herramienta nos permite evaluar nuestras alternativas incluyendo variables que intervienen en un determinado problema.

Ventajas del análisis multicriterio

- Simplifica situaciones complejas.
- Permite avanzar paso a paso hacia la búsqueda de una solución, con toda transparencia.
- Las bases sobre las que se realiza la selección de los criterios y la puntuación de los resultados son a menudo sencillas, comprensibles y determinadas por el grupo que conduce el análisis.
- Permite una valoración estable de los diferentes elementos incluidos en el análisis, por lo que racionaliza el proceso de toma de decisiones.

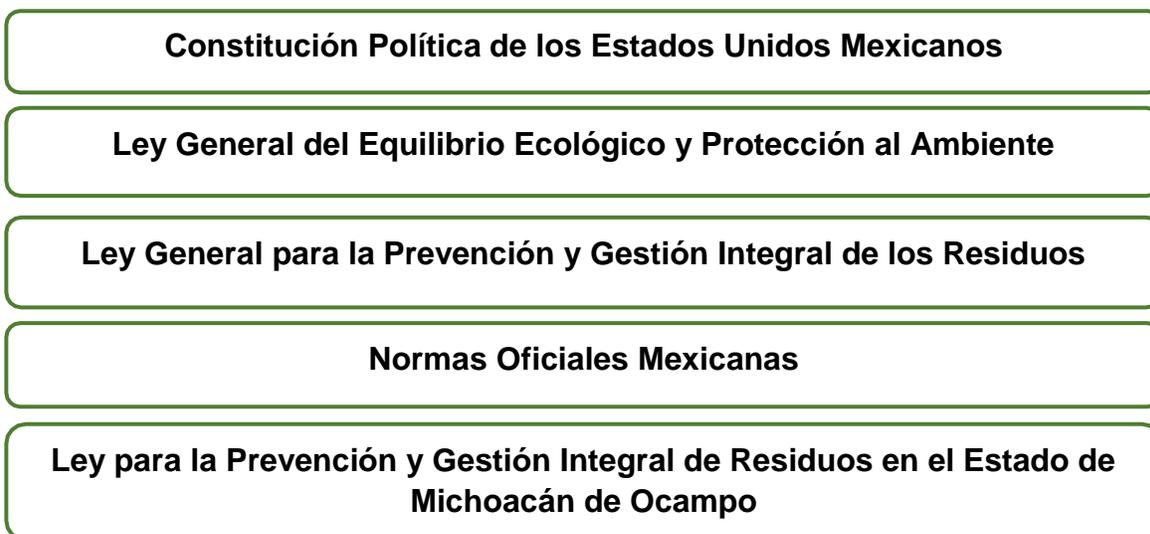
El capítulo anterior nos sirve de apoyo para comprender los temas que aborda este proyecto y tener un conocimiento general de las herramientas que serán de utilidad para dar respuesta a éste a través de una metodología aplicada.

Así mismo se expone que el uso de la metodología “evaluación multicriterio” requiere de evaluar leyes y normas a nivel federal, estatal y si es posible municipal para conocer los requerimientos, variables, criterios o restricciones que se deben integrar en el proceso metodológico respecto a la localización de sitios óptimos en donde ubicar un relleno sanitario, tema que se abordará en el siguiente capítulo.

Capítulo IV Marco Normativo

Este capítulo da a conocer la normatividad, leyes, reglamentos y normas aplicables a nivel federal, estatal y municipal que cumplen con el objetivo de preservar el medio ambiente en materia de manejo y disposición final de residuos.

Imagen 4.1 Marco Normativo.



Fuente: Elaboración propia.

4.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La generación de residuos es bastante preocupante y cada vez trae una problemática ambiental mayor para todo el mundo, en diversos países existe una reocupación por mitigar estos efectos, pero existen diversas variables que no dan lugar a que se establezcan medidas drásticas para ayudar a la solución del problema.

En la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en el Artículo 115, Fracción III, menciona que las autoridades municipales tienen a su cargo las funciones de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos, ellos pueden proporcionar gratuitamente estos servicios y expedir reglamentos al servicio de limpia (CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS, 2016).

4.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

En la (LGEEPA, 2018), se puede observar que en el capítulo IV, se mencionan los siguientes aspectos:

- Corresponde al estado y a la sociedad prevenir la contaminación de suelo por ende debe ser controlada y reducida la generación de residuos tanto municipales como industriales ya que es la principal fuente de contaminación de los suelos.
- Es necesario operar sistemas de limpia y disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios.
- Se deben mejorar los sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales.
- Tienen que identificar alternativas de reutilización y disposición final de los residuos, incluyendo la elaboración de inventarios de estos y sus fuentes generadoras.
- Dictamina que donde se acumulen estos residuos no debe existir lo siguiente:

Contaminación del suelo

Alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos

Alteraciones en el suelo que perjudiquen su aprovechamiento, uso o explotación

Riesgos y problemas de salud

- Y que todo ello se debe sujetar a lo establecido en las normas oficiales.

4.3 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

La última Reforma publicada de esta ley fue el 19 de enero del año 2018, la cual establece lo siguiente respecto a residuos y su disposición final:

- Determinar los criterios que deberán de ser considerados en la generación y gestión integral de los residuos, para prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud humana.

- La prevención y minimización de la generación de los residuos, de su liberación al ambiente, y su transferencia de un medio a otro, así como su manejo integral para evitar riesgos a la salud y daños a los ecosistemas.
- La selección de sitios para la disposición final de residuos de conformidad con las normas oficiales mexicanas y con los programas de ordenamiento ecológico y desarrollo urbano.
- La realización inmediata de acciones de remediación de los sitios contaminados, para prevenir o reducir los riesgos inminentes a la salud y al ambiente.
- Expedir reglamentos, normas oficiales mexicanas y demás disposiciones jurídicas para regular el manejo integral de los residuos peligrosos, su clasificación, prevenir la contaminación de sitios o llevar a cabo su remediación cuando ello ocurra.

4.4 Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003

Esta norma que establece la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) 2004 se denomina: “Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial”

La NOM-083-SEMARNAT-2003 regula la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, que los sitios destinados a la ubicación de tal infraestructura, así como su diseño, construcción, operación, clausura, monitoreo y obras complementarias; se lleven a cabo de acuerdo a los lineamientos técnicos que garanticen la protección del ambiente, la preservación del equilibrio ecológico y de los recursos naturales, la minimización de los efectos contaminantes provocados por la inadecuada disposición de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial y la protección de la salud pública en general (SEGOB, 2004).

Esta norma es un instrumento que nos describe las características y especificaciones que debemos seguir para minimizar la contaminación al medio ambiente y por ende los riesgos a la salud, por lo que es importante dar a conocer

en este trabajo los requisitos, condiciones, parámetros y límites que nos ayudaran a preservar el bienestar de nuestro entorno, ya que actualmente en el municipio de Zitácuaro se cumple con un mínimo de las características señaladas en su sitio de disposición final.

Aunque la norma contiene aspectos puntuales de todos los procesos relacionados a rellenos sanitarios, este proyecto describirá y desarrollara las características y requerimientos de protección **ambiental** que marca la selección **“6.1 Especificaciones para la selección del sitio”** y abarca las especificaciones del apartado 6.1 al 6.1.7 de dicha norma, ya que es fundamental para alcanzar el objetivo de este proyecto.

En el punto 6 de la NOM se establecen las restricciones de ubicación para un SDF (Sitio de Disposición Final), que se deben considerar al momento de realizar la selección del sitio adecuado y éstas son las siguientes:

Restricciones y Especificaciones en materia ambiental que marca la NOM-083-SEMARNAT-2003

- No se deben ubicar sitios de disposición final en áreas naturales protegidas, a menos que estén contemplados en el plan de manejo.
- Los sitios de disposición final deben estar a una distancia mínima de 500m (quinientos metros), a partir del límite de la traza urbana contemplada en el plan de desarrollo y también a esa distancia en localidades mayores de 2,500 habitantes.
- No debe ubicarse en zonas de: marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales y recarga de acuíferos.
- No puede estar ubicado dentro de zonas arqueológicas.
- El sitio de disposición final no debe estar sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas.
- El sitio de disposición final se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación

o posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el sitio de disposición final.

- La distancia de ubicación del sitio de disposición final, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 m (quinientos metros) como mínimo.
- La ubicación entre el límite del sitio de disposición final y cualquier pozo de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados, no será menor de 500 metros.
- Tienen que contar con un estudio Geológico.
- Los sitios de disposición final tienen que contar con un estudio Hidrogeológico.

Es importante considerar que una forma de tener control al momento de que sea aplicada la norma es tener actualizada la cartografía del sitio a través de imágenes satelitales, de esta manera se asegura que existe un control en el cumplimiento de los puntos que establece la NOM-083-SEMARNAT-2003.

4.5 Ley para la Prevención y Gestión Integral de Residuos en el Estado de Michoacán de Ocampo

Esta ley en su edición 2016 a nivel estado es a la que debería apegarse más el municipio ya que el plan de desarrollo municipal va de la mano con el estatal. La ley en cuestión resalta lo siguiente:

- Destinar anualmente y dentro de su presupuesto, recursos suficientes para lograr la efectiva aplicación del presente ordenamiento:
- Promover en coordinación con el Gobierno Federal y las autoridades municipales correspondientes, la creación de infraestructura para la gestión integral de residuos urbanos, de manejo especial y residuos peligrosos.
- Atender los asuntos en materia de residuos urbanos y de manejo especial que se generen entre dos o más municipios, y cuando se trate de casos

relacionados con la prestación del servicio de limpia, hacerlo en coordinación con las autoridades municipales competentes en la materia.

- Formular, ejecutar, vigilar y evaluar las políticas y los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Urbanos.
- Intervenir en la prevención de la contaminación por residuos urbanos y remediación de sitios contaminados, de conformidad con las políticas establecidas a nivel nacional y estatal en la materia.
- Establecer programas municipales de reducción de residuos urbanos producidos por los distintos generadores en su territorio.
- Implementar el programa de separación de residuos urbanos.
- Fomentar el desarrollo de proyectos productivos en materia de reciclaje.
- Prestar, por si o concesionar mediante licitación pública, los servicios de limpia, recolección, traslado y tratamiento de residuos urbanos.
- Gestionar la construcción de un sitio de disposición final de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas aplicables.
- Solicitar al Gobierno del Estado la inclusión de nuevas y mejores tecnologías disponibles para la gestión integral de los residuos urbanos.
- Autorizar las obras relacionadas con la instalación de sitios e infraestructura para el traslado y transferencia de residuos urbanos.

La normatividad mencionada en el capítulo anterior sustenta el propósito de la investigación y la necesidad a nivel nacional que se tiene de dar no solo una buena gestión a los residuos en cuanto a minimización y reutilización de residuos sino también a la inversión para un sitio de disposición final (un relleno sanitario).

Los aspectos que describen dichas normas deben ser considerados a la hora de aplicar nuestra metodología para obtener un resultado avalado por lo establecido en normas y leyes que competen a la disposición final de residuos.

Capítulo V Metodología

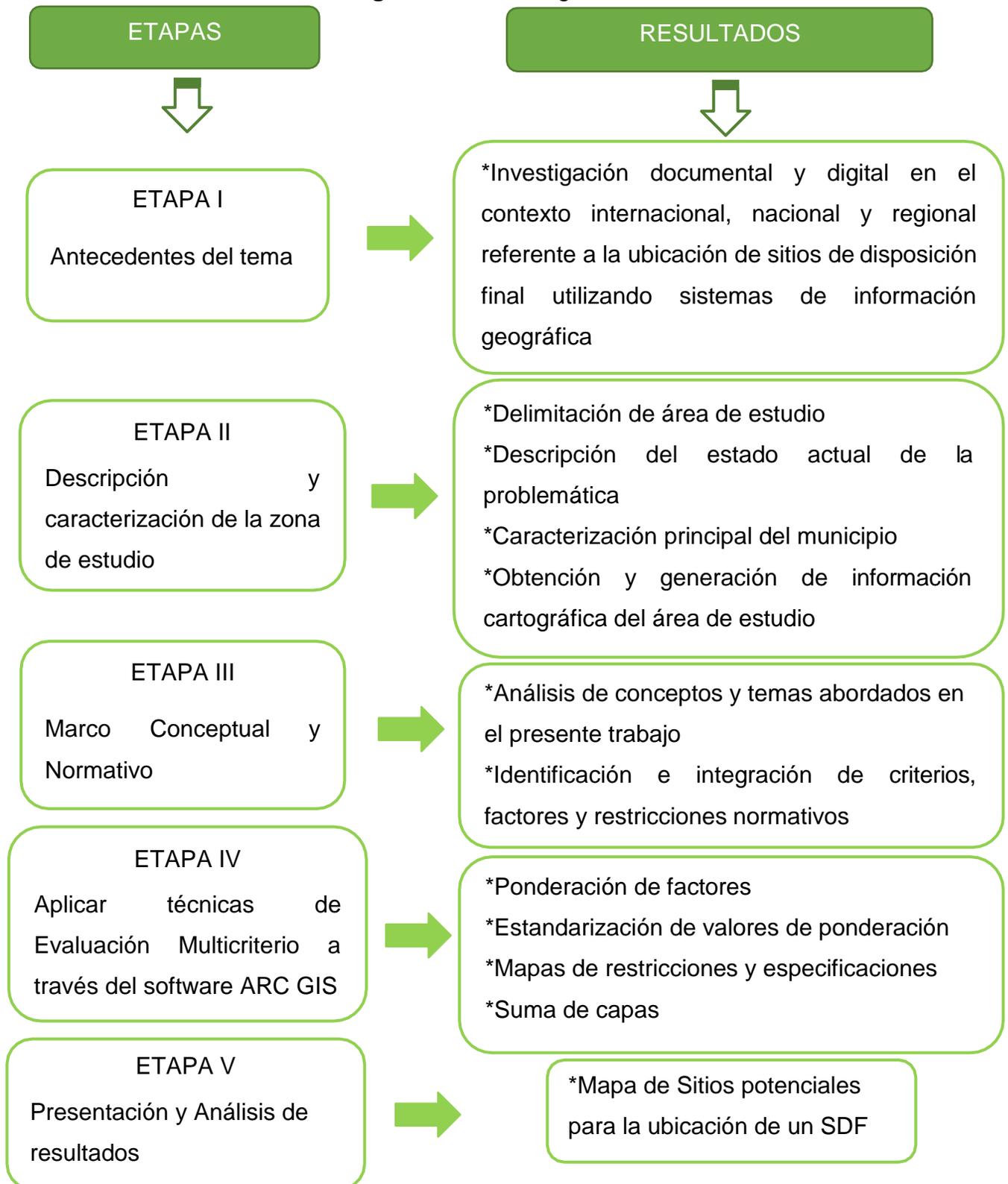
El proceso que se siguió para cumplir los objetivos del proyecto de investigación, entre los que destaca identificar los sitios óptimos para implementar un relleno sanitario en el municipio de Zitácuaro, Michoacán se basó en la NOM-083-SEMARNAT-2003, la cual establece los parámetros físicos a considerar para ubicar un relleno sanitario misma que dio pauta a desarrollar el estudio considerando diferentes factores.

Para el análisis se tomarán en cuenta factores como hidrología, uso de suelo, edafología, población e infraestructura, a las cuales se les asignará un valor tomando en cuenta las especificaciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003, todo esto se llevará a cabo con el método de “evaluación multicriterio” donde el resultado permita elegir el lugar óptimo en el cual se puede ubicar un relleno sanitario. Mismo proceso que se desarrollará en un ambiente de sistemas de información geográfica (SIG).

Considerando los elementos que intervienen en el estudio, cabe señalar que la investigación será descriptiva y cuantitativa, se basa en el análisis de resultados y observaciones para dar propuestas de solución a la problemática abordada.

Para el cumplimiento de los objetivos de la investigación en el estudio se seguirán las etapas siguientes:

Imagen 5.1 Metodología.



Fuente: Elaboración propia.

5.1 Etapa I Antecedentes del Tema

En esta etapa fue necesario buscar información acerca de investigaciones previas de la misma temática donde se usó alguna metodología similar refiriéndose a los Sistemas de Información Geográfica, se estudió a nivel internacional, nacional y regional, se revisaron y analizaron las distintas variables que se utilizaron en cada estudio para reconocer si lograron llegar a los resultados esperados y que lograron obtener, esto con el fin de poder utilizar las mismas variables o probar una metodología similar, la mayoría de la información fue obtenida de libros y artículos de revistas.

El proceso que se utilizó en la mayoría de los casos fue “Análisis Multicriterio”.

5.2 Etapa II Descripción y Caracterización de la Zona de Estudio

Con la problemática ya definida, los objetivos propuestos y la pregunta de investigación elaborada a la cual este trabajo deberá dar respuesta, comenzamos recabando información disponible sobre el área de estudio por medio de artículos, bases de datos, dependencias de gobierno, periódicos, entre otros; información con la cual describimos rasgos físicos, biológicos, demográficos, económicos y de carácter ambiental como edafología, hidrología, geología, uso de suelo, clima y fisiografía de la zona de estudio, así como la caracterización del actual relleno sanitario y el manejo de residuos en sus distintas etapas.

Algunas de las fuentes consultadas para la descripción de este apartado fueron: INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), noticias de periódicos municipales e información del Ayuntamiento como el Plan de Desarrollo Municipal.

Los datos demográficos y socioeconómicos se obtuvieron en su mayoría del Plan de Desarrollo Municipal, del censo de INEGI y del INAFED Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal.

Para delimitar la zona de estudio se utilizó información de INEGI, como datos vectoriales, división política de la República Mexicana y del estado de Michoacán del Marco Geoestadístico de INEGI, de acuerdo al límite obtenido se delimitaron los mapas temáticos.

Para elaborar los mapas tanto temáticos como el mapa base de la zona se descargó la información topográfica de INEGI (contiene una serie de mapas que representan gráficamente rasgos como relieve, hidrología, vegetación, áreas con actividades agrícolas, tipos de suelo, rasgos geológicos, entre otros, también incluye datos como localidades rurales y urbanas, vías de comunicación, infraestructura y carreteras. Las cartas utilizadas fueron las siguientes:

- E14A25
- E14A26
- E14A35
- E14A36

Estas capas se obtuvieron en escala 1:50,000, se re proyectaron a WGS 1984 Zona14 norte, con el fin de unificar el análisis y manejo del contenido de la información y se digitalizó información de cada temática para lograr obtener los mapas.

Para el mapa hidrológico se utilizaron capas vectoriales de INEGI e información hidrológica de CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) y del Marco Geoestadístico de INEGI 2018.

Los resultados mencionados anteriormente se lograron con la recopilación de los datos ya descritos y con ayuda del software **ARC GIS**.

Para la caracterización del actual relleno sanitario y el manejo de residuos del municipio, fue necesaria una visita de campo al sitio, una entrevista a los encargados del servicio de limpia del Ayuntamiento, además de consultar a personas que trabajan en la recolección de los residuos para corroborar dicha información, por último, se aplicó la metodología de esta investigación para conocer su estado real de acuerdo con la norma.

5.3 Etapa III Marco Conceptual y Normativo

Para elaborar esta etapa se identificaron los conceptos generales y específicos que se abordan a lo largo de este proyecto de investigación, el proceso completo de la etapa de manejo de residuos, tipos de rellenos sanitarios, información acerca de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) y un glosario con la descripción de palabras que se utilizan en este proyecto, todo ello nos permitió elaborar el “marco conceptual”.

Las principales fuentes del marco conceptual fueron el Inventario Nacional de Humedales en México, información de SEMARNAT Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos LGPGIR, libros relacionados a temas de rellenos sanitarios e información de sitios web acerca de los SIG Sistemas de Información Geográfica.

En cuanto a la integración de criterios normativos, que son aspectos fundamentales para la generación de propuestas en este proyecto, se tomaron en cuenta leyes y normas en ámbito federal, estatal y municipal que describen aspectos de responsabilidad para cumplir objetivos de preservación del medio ambiente en el tema del manejo de residuos y la disposición final de los mismos.

La norma en la que se basan los factores y restricciones aplicados en la metodología es la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

5.4 Etapa IV Aplicar Técnicas de Evaluación Multicriterio a través del Software ARC GIS

En esta etapa se llevó a cabo el uso del software ARC GIS y todo el material cartográfico recopilado de la zona de estudio, los insumos se obtuvieron de la siguiente manera de acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003.

FACTORES

Son estándares que especifican distancias como marguen para evitar algún tipo de contaminación o daño a la salud humana y cumpliendo con ello puede ser viable o no un lugar para ubicar un SDF.

Tabla 5.1 Factores que Establece la Norma.

FACTOR	ESPECIFICACIONES	INSUMOS
Área Urbana y Localidades	En localidades mayores de 2500 habitantes, el límite del sitio de disposición final debe estar a una distancia mínima de 500 m (quinientos metros) contados a partir del límite de la traza urbana existente	Marco Geoestadístico (INEGI, 2018)
Cuerpos de Agua	La distancia de ubicación del sitio de disposición final, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe de ser de 500 metros como mínimo	Cartas Topográficas (INEGI, 2010) Marco Geoestadístico (INEGI, 2018)
Pozos	La ubicación entre el límite del sitio de disposición final y cualquier pozo de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados, será de 100 metros adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento. Cuando no se pueda determinar el cono de abatimiento, la distancia no será menor de 500 metros	Marco Geoestadístico (INEGI, 2018)

Fuente: Elaboración propia, con base en información de NOM-083-SEMARNAT-2003.

RESTRICCIONES

De acuerdo con la norma son criterios que restringen la posibilidad de que en esa área se pueda ubicar un SDF, dependiendo la actividad evaluada se hace esta categorización.

Tabla 5.2 Restricciones que Establece la Norma.

RESTRICCIÓN	ESPECIFICACIONES	INSUMOS
Áreas Naturales Protegidas	No debe de ubicarse sitios dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en Plan de manejo de éstas	CONANP Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas CONANP, 2019)
Zonas de recarga	No debe de ubicarse en zonas de recarga de acuíferos	Mapa de pendientes (elaboración propia con Cartas Topográficas de (INEGI, 2010))
Zonas de inundación, deslaves o erosión	El sitio de disposición final se debe de localizar fuera de las zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir con lo anterior, se debe mostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación con posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el sitio de disposición final	Mapa de pendientes (elaboración propia con Cartas Topográficas de (INEGI, 2010))

Zonas Arqueológicas	El sitio de disposición final no debe estar ubicado en zonas arqueológicas	El área de la zona arqueológica se digitalizó sobre Google Earth
Fallas y Fracturas	No debe de ubicarse en zonas donde existan fallas activas, fracturas o grietas	Cartas Geológicas E14A25, E14A26, E14A35, E14A36

Fuente: Elaboración propia, con base en información de NOM-083-SEMARNAT-2003.

Con toda la información recabada y siguiendo las especificaciones y restricciones de la norma se generó la cartografía con el uso del software ARC GIS a través de la herramienta **buffer** para marcar el área en donde no es apto ubicar un relleno sanitario y la sobreposición de mapas y el análisis multicriterio para crear un mapa de resultados en donde se elegirán los sitios adecuados para la ubicación de un relleno sanitario.

5.5 Etapa V Presentación y Análisis de Resultados

En esta etapa se generó el mapa final considerando todos los aspectos que menciona la norma y se corroboraron los sitios seleccionados a través de una visita de campo.

Capítulo VI Presentación de Resultados y Conclusiones

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos de restricciones y factores que marca la NOM-083-SEMARNAT-2003, lo cual dio como resultado lo siguiente:

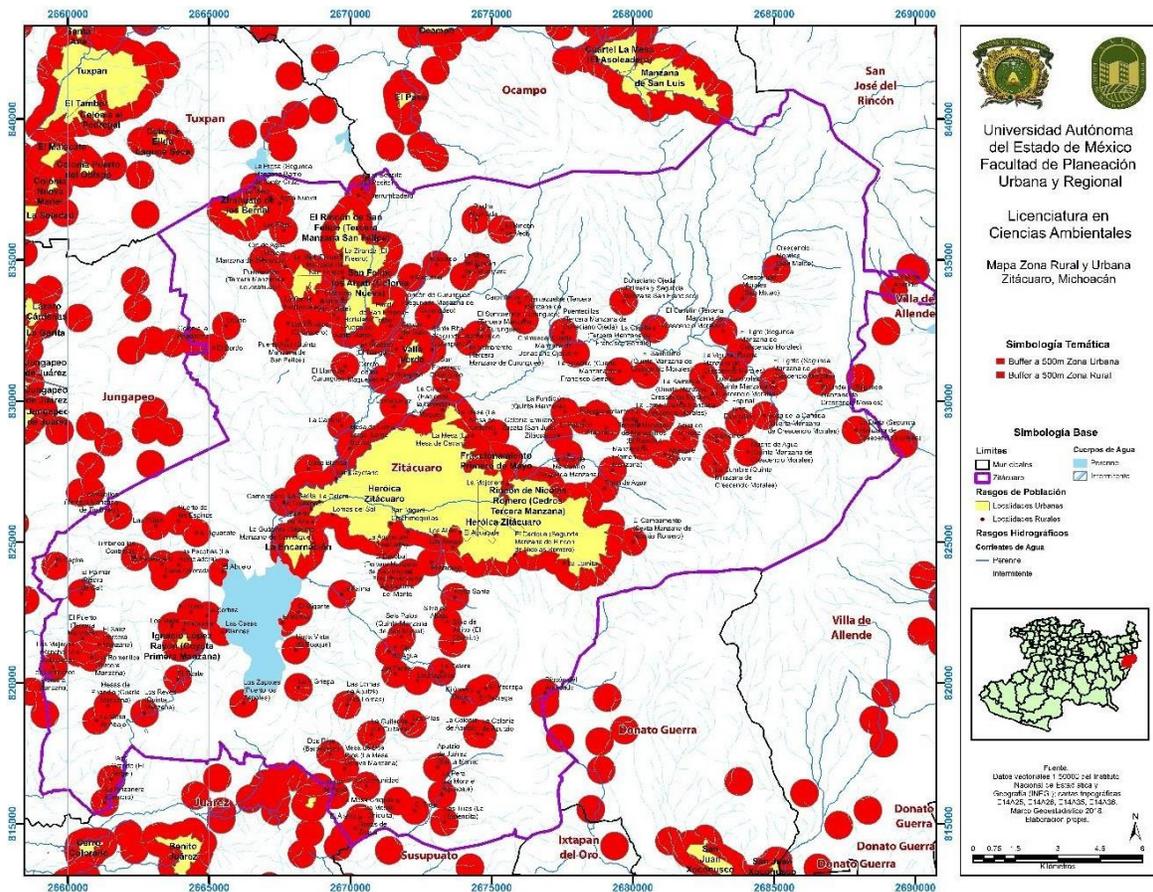
- Mapas de factores y restricciones que marca la norma del área de estudio.
- Un mapa final de aptitud que se realizó con la suma de las distintas capas y que muestra un análisis espacial dando como resultado los sitios óptimos en donde se podría ubicar un relleno sanitario.
- La ubicación de algunos sitios elegidos que podrían ser una opción en donde ubicar un relleno sanitario en el municipio.

6.1 Mapas de Factores

Mapa 1 Área urbana y Localidades

La norma establece que el sitio de disposición final (SDF) debe estar a 500 metros como mínimo de localidades mayores de 2,500 habitantes, por lo que se realizó un recorte de dichas localidades del municipio y se aplicó un buffer (zona de influencia) a 500 metros de la zona rural y la urbana, dando como resultado un mapa que marca en rojo las zonas a 500 metros en donde no podría ubicarse un relleno sanitario, que puede apreciarse en la Imagen 6.1 (ver anexo de mapas).

Imagen 6.1 Mapa Área Urbana y Localidades Zitácuaro, Michoacán.

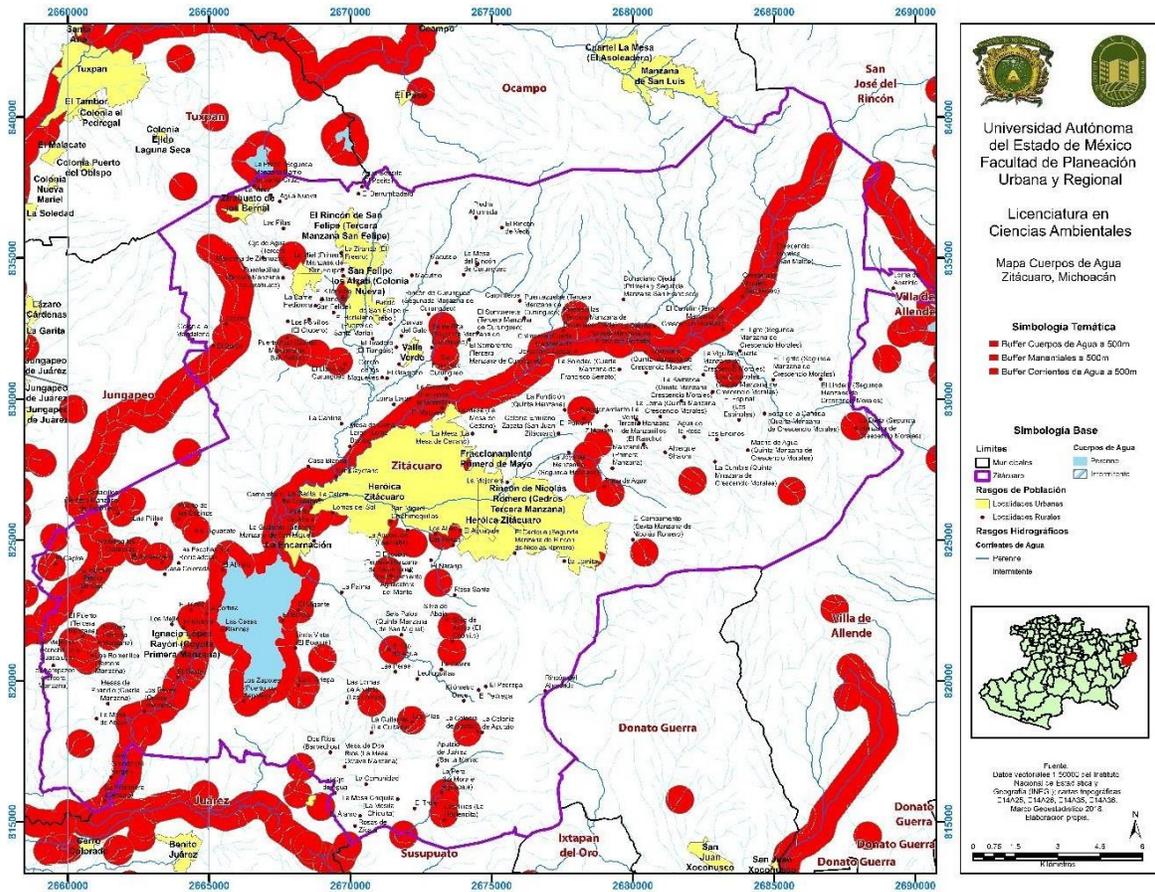


Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

Mapa 2 Cuerpos de agua y ríos

En este aspecto la norma dice que la distancia de ubicación del sitio de disposición final, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe de ser de 500 metros como mínimo, por lo que se agregaron las capas hidrológicas correspondientes y se elaboró un BUFFER (o área de influencia) a 500 metros tal como se establece, macando con color rojo las zonas que no son viables de acuerdo con este factor, el resultado es el siguiente:

Imagen 6.2 Mapa Cuerpos de Agua y Ríos Zitácuaro, Michoacán.

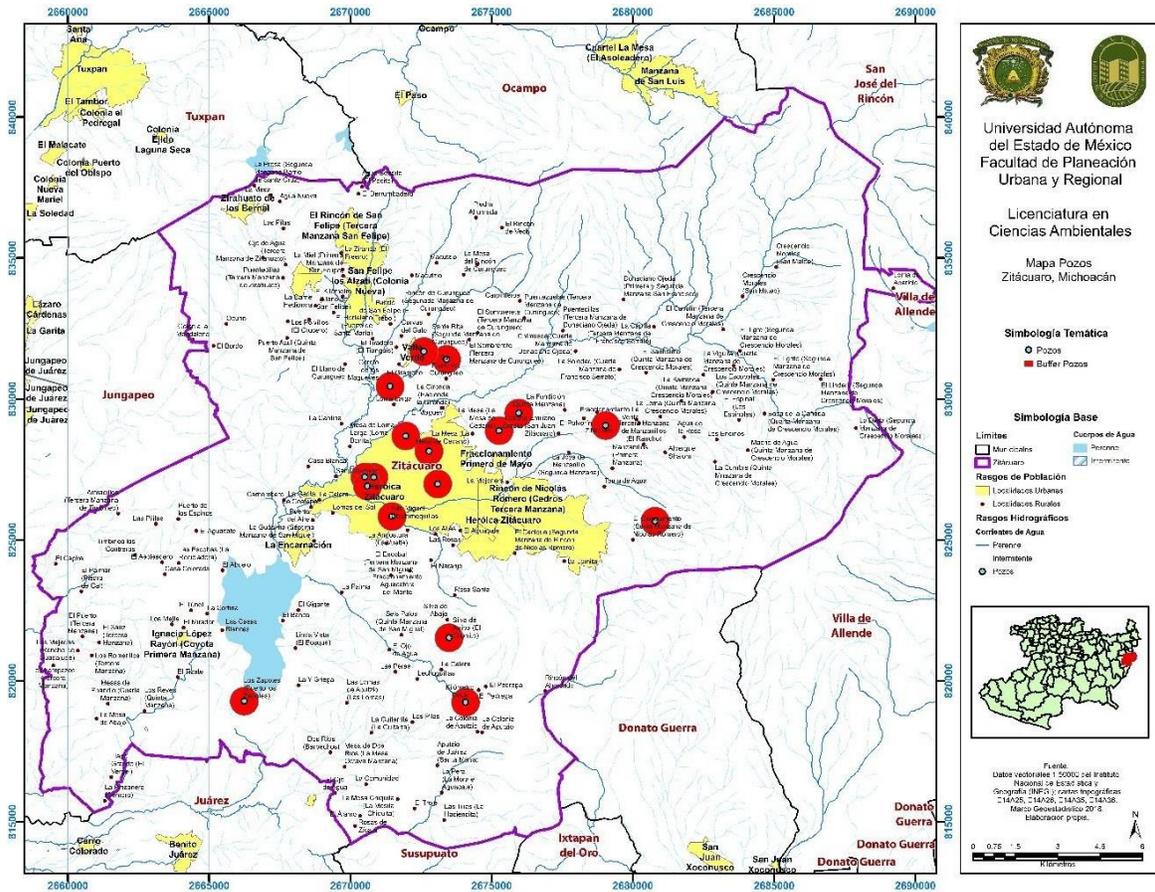


Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

Mapa 3 Pozos

Acerca de pozos se establece que la ubicación entre el límite del sitio de disposición final y cualquier pozo de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados, no será menor de 500 metros, lo que requirió la aplicación de la herramienta BUFFER, resultado que se muestra a continuación:

Imagen 6.3 Mapa Pozos Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

6.2 Mapas de Restricciones

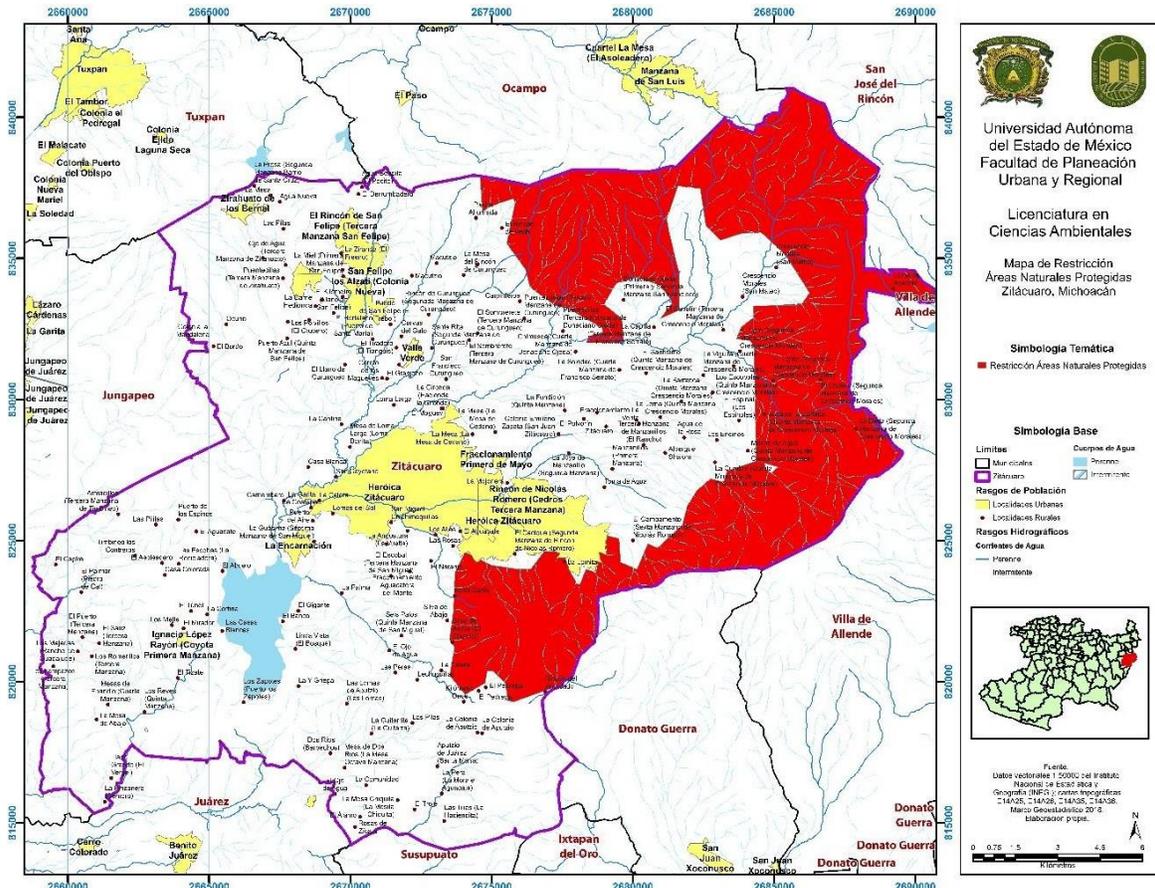
Mapa 1 Áreas Naturales Protegidas

La norma especifica que un SDF no debe ubicarse sitios dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en Plan de manejo de éstas. De acuerdo con la (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas CONANP, 2019) en el municipio de Zitácuaro existen dos que son las siguientes:

- Parque Nacional Bosencheve
- Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

El mapa siguiente muestra en donde están ubicadas, que es un lugar en donde no se puede ubicar un relleno sanitario.

Imagen 6.4 Mapa Áreas Naturales Protegidas Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

Mapa 2 Pendiente: Zonas de recarga y zonas de inundación, deslaves o erosión.

La pendiente es una manera de medir el grado de inclinación de un terreno, cuando existe una inclinación mayor, el valor de pendiente será alto (Cueva del Águila & Quiroz Ramirez, 2017).

Este mapa representa los diferentes grados de pendiente del municipio, es importante conocer el grado de inclinación o porcentaje de la pendiente para la ubicación de un relleno sanitario ya que de ella dependerán factores importantes como la complicación de la construcción del relleno sanitario, las consecuencias

que se puedan generar durante el funcionamiento del SDF así como la zona de recarga de acuíferos que establece la norma y las zonas de inundación deslaves o erosión.

En pendientes muy bajas o planas puede generarse inundación y acumularse lixiviados que se mezclan con agua y contaminaría de manera importante los cuerpos de agua, aunado a esto es el área donde se acumula agua y se infiltra recargando los acuíferos por lo tanto es un área restringida.

En pendientes muy elevadas pueden ocurrir deslaves que arrastren consigo los residuos y los lixiviados, por el mismo hecho del arrastre puede generar erosión en la zona sin mencionar que en una pendiente muy elevada se dificultaría el proceso de construcción del relleno sanitario.

En la Norma Oficial para la selección de un sitio para ubicar un SDF no menciona como tal un porcentaje óptimo a seleccionar, pero si menciona lo siguiente “El sitio de disposición final se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el sitio de disposición final” (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), 2004).

Dado que la norma no menciona un valor establecido, se seleccionaron los siguientes casos de estudio que utilizan un rango de pendiente que sirve de base para el análisis de nuestro caso de estudio.

1. La aportación del Ing. Juan Guillermo con el método utilizado para la evaluación y selección de sitios para relleno sanitario considera que la pendiente media del terreno natural del sitio no debe ser mayor de 30% (Umaña, 2002).

2. El (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2010) establece una “Guía para la implementación, operación, y cierre de Rellenos Sanitarios, se considera que la construcción debe ser en terreno ligeramente inclinado; entre 3 - 12 %. La topografía del terreno decide sobre la extensión vertical del cuerpo de basura, así como la evacuación de las aguas de lluvia y lixiviados con pendiente natural. Es también un factor económico importante, puesto que determina, como determina la cantidad de excavación y nivelación del terreno que se debe hacer, este factor es muy importante para los rellenos ya que el sitio seleccionado deberá tener la posibilidad de evacuar las aguas lixiviadas con pendiente natural.

3. En una tesis de Maestría llamada “determinación y evaluación de sitios para la disposición final de residuos sólidos municipales en la reserva de la biosfera el Vizcaino, B.C.S por Juan Antonio Rodríguez (Rodríguez Villeneuve, 2003), se eligió una pendiente de 3- 12% como rango óptimo para la ubicación de SDF de residuos sólidos, es decir planicies levemente inclinadas.

Para el caso de estudio en particular se realizó una clasificación de rangos de pendiente, considerando los casos de estudios señalados y asignando valores ajustados a las características del relieve del municipio de Zitácuaro, dando como resultado un mapa con los siguientes rangos de análisis y características:

Tabla 6.1 Rangos de Pendiente.

RANGO DE PENDIENTE	VALOR	DETERMINACIÓN	COLOR DE IDENTIFICACIÓN
0-3 %	4	Aptitud baja	Anaranjado
3-12 %	1	Muy alta aptitud	Verde fuerte
12-20 %	2	Alta aptitud	Verde Claro
20-30 %	3	Aptitud media	Amarillo
30-345 %	5	Aptitud muy baja	Rojo

Fuente: Elaboración propia.

El rango de pendiente de 3-12 % con valor 1 tiene una muy alta aptitud, pues de acuerdo con los casos analizados anteriormente es un área fácil de compactar, excavar y nivelar el terreno con maquinarias en el momento de la construcción del SDF, son planicies levemente inclinadas y hay una evacuación de agua de lluvia y lixiviados de manera natural, no es una zona de inundación ni recarga de acuíferos y no se originan deslaves ni erosión.

El rango de pendiente de 12-20 % con valor de 2 tiene una aptitud Alta, está dentro de un rango óptimo para ubicar un SDF, y no causa problema en la construcción del SDF ni al momento en que esté en ejecución, tampoco es zona de recarga ni de inundación, ni se originan deslaves y erosión.

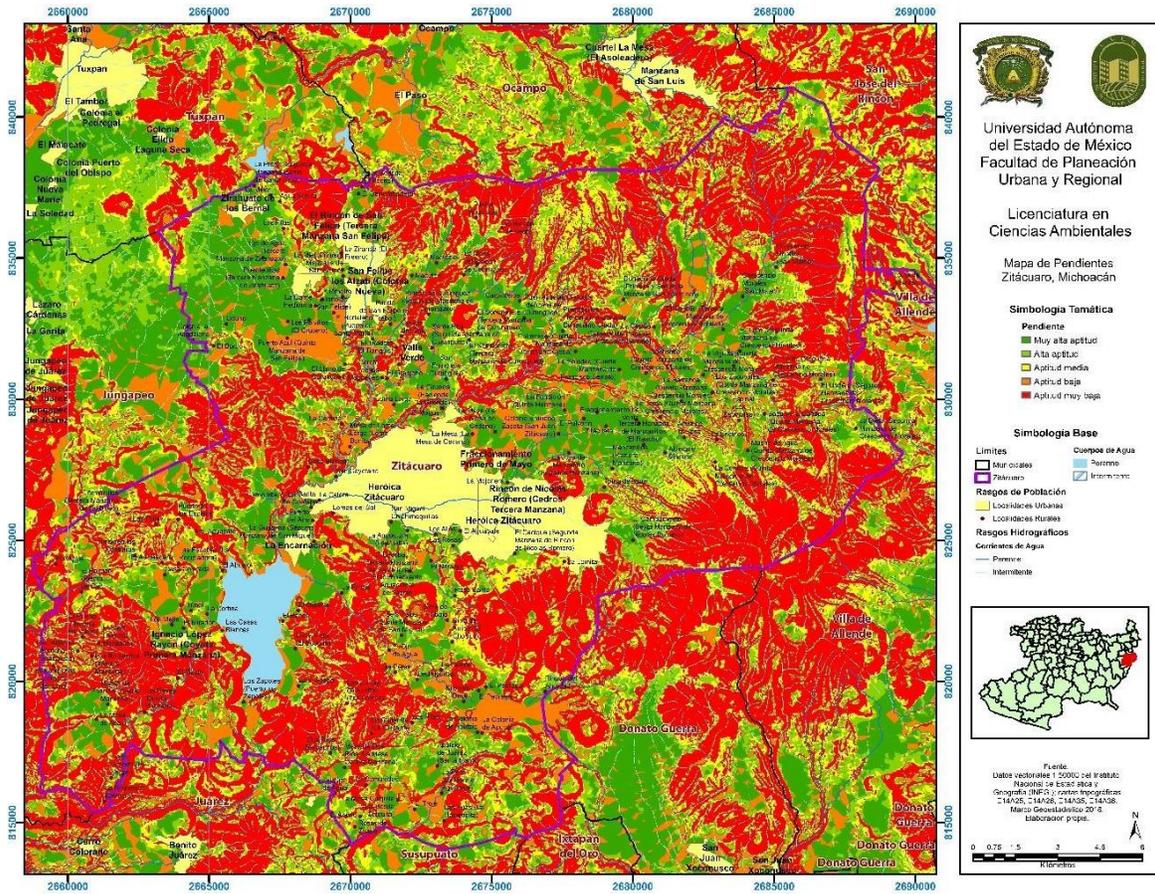
El rango de pendiente de 20-30% con valor de 3 tiene una Aptitud media y aún reúne las características para un lugar óptimo para establecer un SDF, aunque sería una opción que traería dificultad a la hora de construir el relleno sanitario, no es una zona inundable ni de recarga, pero sí podrían ocurrir eventualmente deslaves en ese tipo de pendiente.

El rango de pendiente de 0-3% con valor de 4 tiene una aptitud baja debido a que es una superficie demasiado plana, es zona de inundaciones y el agua se infiltra recargando acuíferos, por lo que se podían mezclar los lixiviados e infiltrarse a los mismos. Por otra parte, no es zona de deslaves ni corre peligro de erosión.

El rango de pendiente de 30-345 % con valor de 5 tiene una aptitud muy baja esto debido a que son pendientes con una inclinación muy pronunciada que dificulta desde la construcción del SDF por la dificultad de excavación y el uso de maquinaria en dicha pendiente hasta el momento de funcionamiento para trasladar los residuos hasta ese punto no sería redituable y atraería mayores problemas, aunado a esto, ocurrirían deslaves continuos ocasionando erosión y el arrastre de residuos y lixiviados.

El siguiente mapa representa lo resultados obtenidos:

Imagen 6.5 Mapa Pendiente: Zonas de Recarga, Zonas de Inundación, Deslaves y Erosión Zitácuaro, Michoacán.

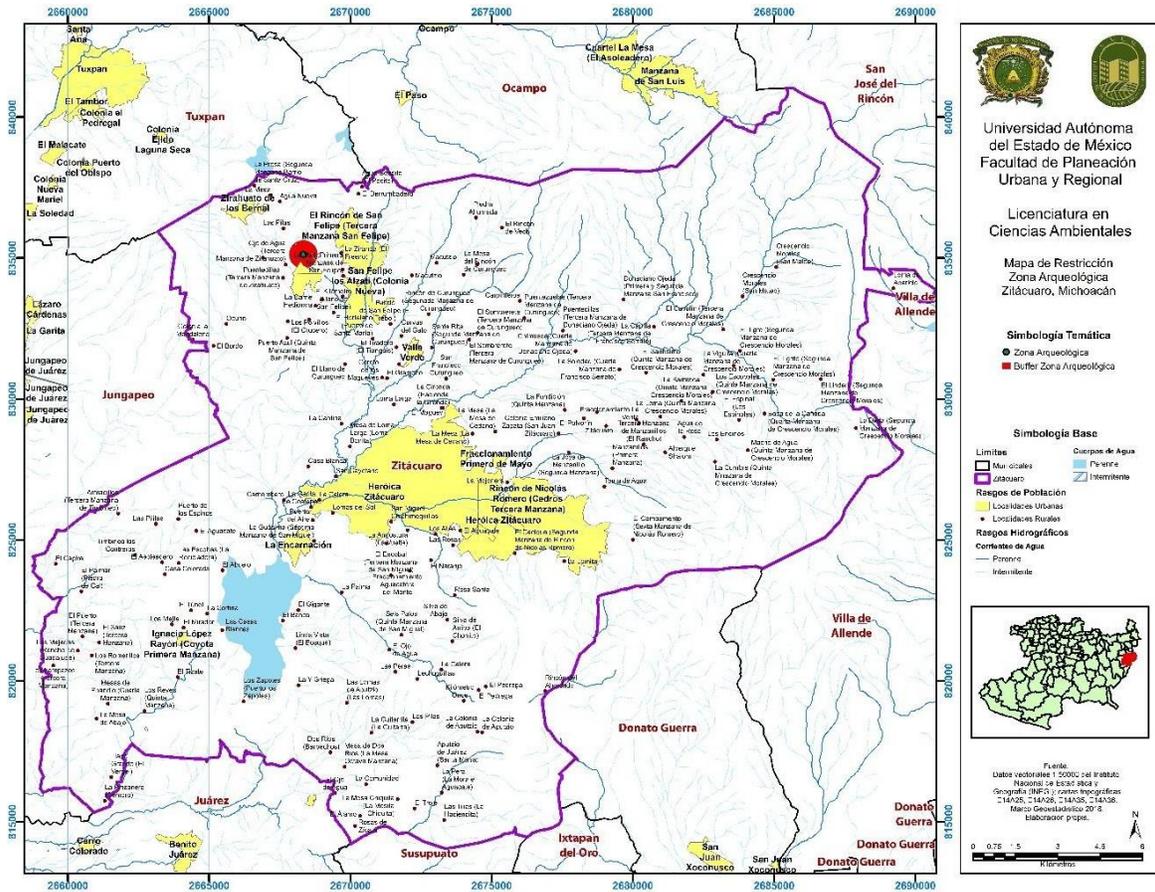


Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

Mapa 3 Zonas Arqueológicas

De acuerdo con la norma el SDF no debe estar ubicado en zonas arqueológicas. En el municipio de Zitácuaro existe una llamada “Zona Arqueológica San Felipe los Alzati”, el área que abarca se digitalizó en GOOGLE EARTH y se agregó al siguiente mapa con un buffer a una distancia de 500 metros, que sería un área restringida para ubicar un relleno sanitario.

Imagen 6.6 Mapa Zonas Arqueológicas Zitácuaro, Michoacán.

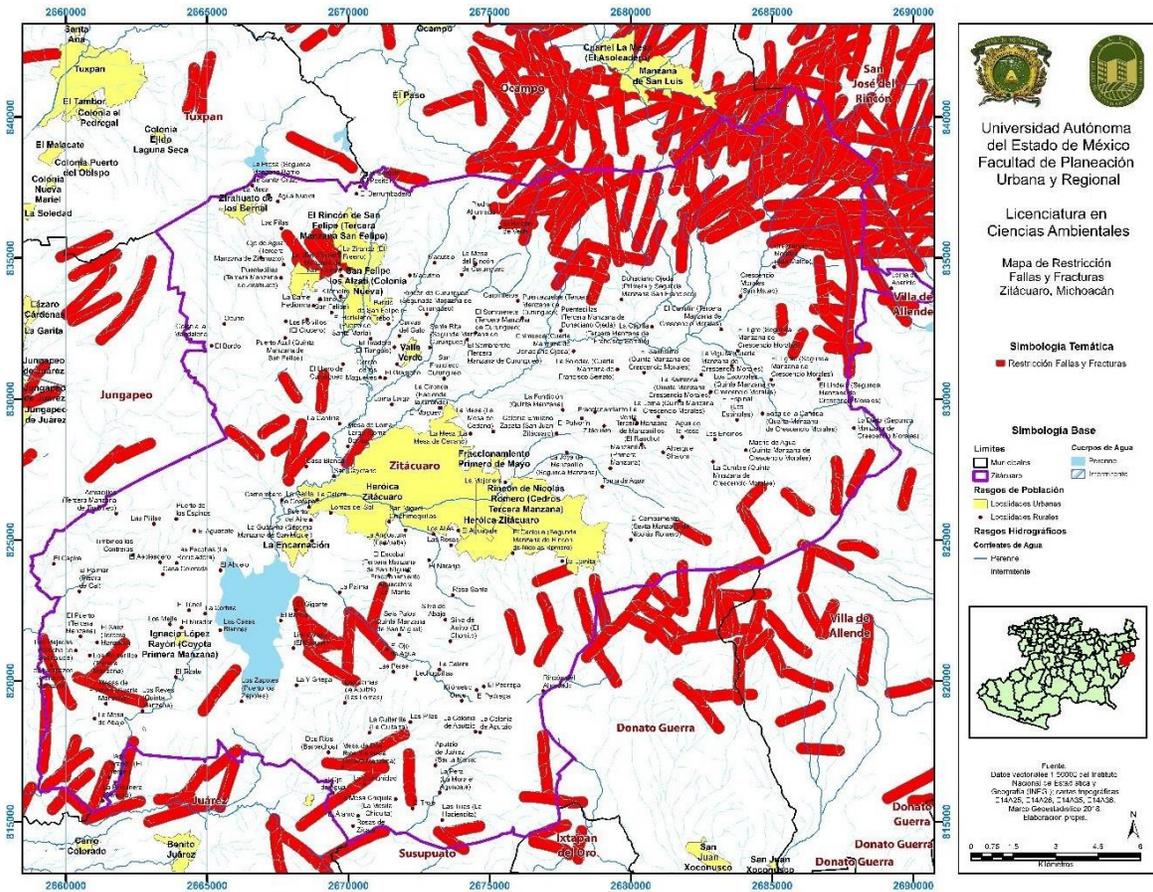


Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

Mapa 4 Fallas y Fracturas

La norma establece que un sitio de disposición final no debe de ubicarse en zonas donde existan fallas activas, fracturas o grietas, para este mapa se digitalizaron las fallas y fracturas existentes en el municipio y se agregó un buffer a 500m, quedando marcada la zona restringida de color rojo como se aprecia en el mapa siguiente.

Imagen 6.7 Mapa Fallas y Fracturas Zitácuaro, Michoacán.

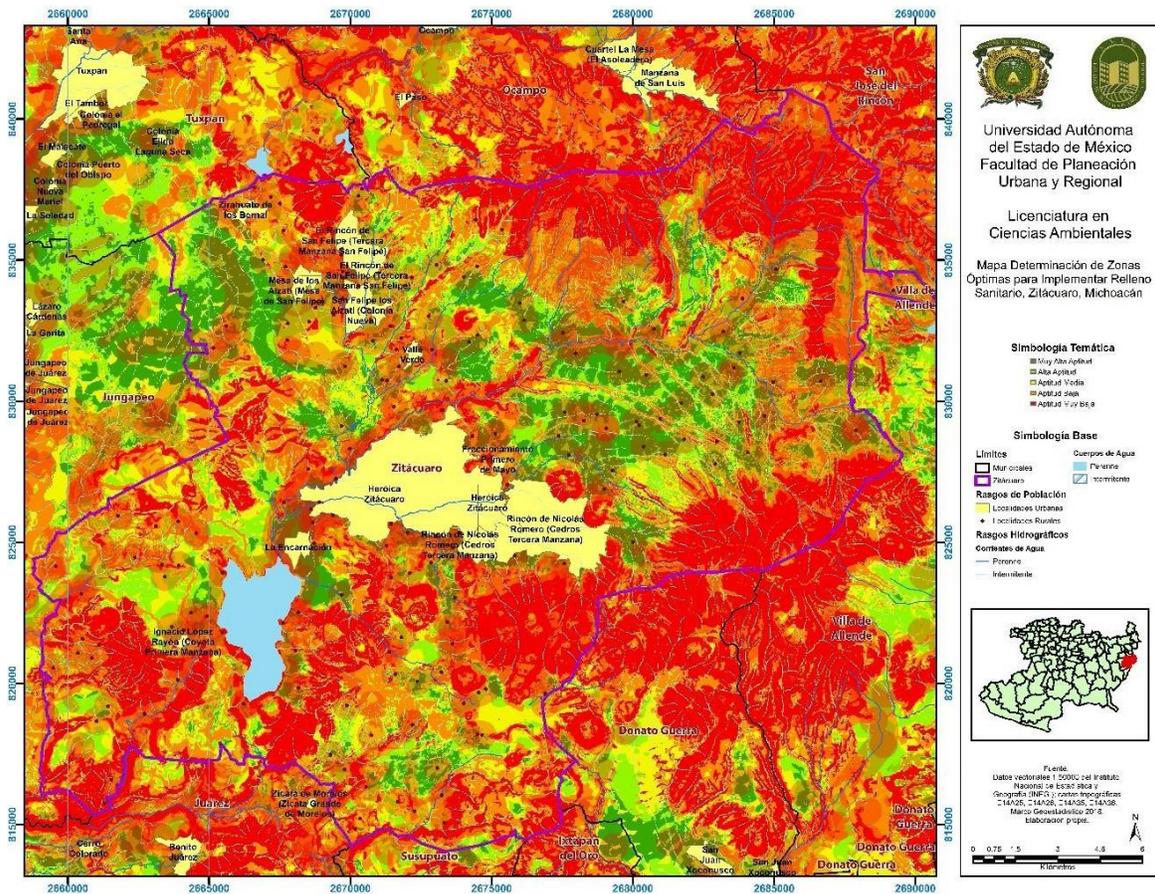


Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

6.3 Determinación de Sitios Óptimos para Implementar un SDF

Para la selección del lugar con las características más adecuadas se realizó el cruce de las capas con las ponderaciones asignadas, además de sobreponer las capas con factores y restricciones mencionados en la norma que en conjunto dieron como resultado el siguiente mapa:

Imagen 6.8 Mapa Determinación de Zonas Óptimas para Implementar Relleno Sanitario Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

El mapa de resultados está identificado por los colores: verde fuerte, verde claro, amarillo, anaranjado y rojo, que definen las mejores áreas en donde se puede ubicar un SDF, estos colores definen que grado de aptitud tiene cada zona en cuanto a aspectos geológicos, edafológicos, de uso de suelo y pendiente. También está marcado con color rojo todos los sitios en donde no debería ubicarse un relleno sanitario de acuerdo estrictamente a lo que establece la norma.

Las áreas de color verde oscuro son las que muestran una “muy alta aptitud”, quiere decir que cumplen con todo lo establecido por la normatividad y otros factores para no causar algún tipo de contaminación al ambiente en general, ni daños a la salud

humana. Como se muestra en el mapa, son muy pocas áreas en el municipio que están exentas de correr algún riesgo.

El color verde claro representa zonas con una “alta aptitud”, se refiere a que en algún factor considerado que marca la norma no cumple en totalidad, pero no corre un riesgo fuerte de algún tipo de contaminación.

Las zonas marcadas con color amarillo tienen “aptitud media” para poder localizar un relleno sanitario, esto se debe a que en diversos aspectos no está cumpliendo y corre un riesgo medio de causar algún tipo de contaminación, problemas a la salud humana o problemas en la construcción del SDF como podría ser pendiente elevada, tipo de suelo no apto, zonas de recarga de acuíferos, entre otras cosas.

El color anaranjado representa áreas en donde no debería ubicarse un relleno sanitario puesto que tiene una “aptitud baja” y quiere decir que falla en muchos aspectos que exige la norma y podría causar tanto problemas ambientales como complicaciones al momento de la construcción del SDF.

Las zonas color rojo representan una “aptitud muy baja” y están lejos de ser un sitio adecuado para la ubicación de un relleno sanitario, significa que son áreas que están restringidas por la norma y también refleja que no tienen características físicas (en cuanto a uso de suelo, geología, edafología y pendiente) que sean convenientes para evitar riesgos al medio ambiente y a la salud.

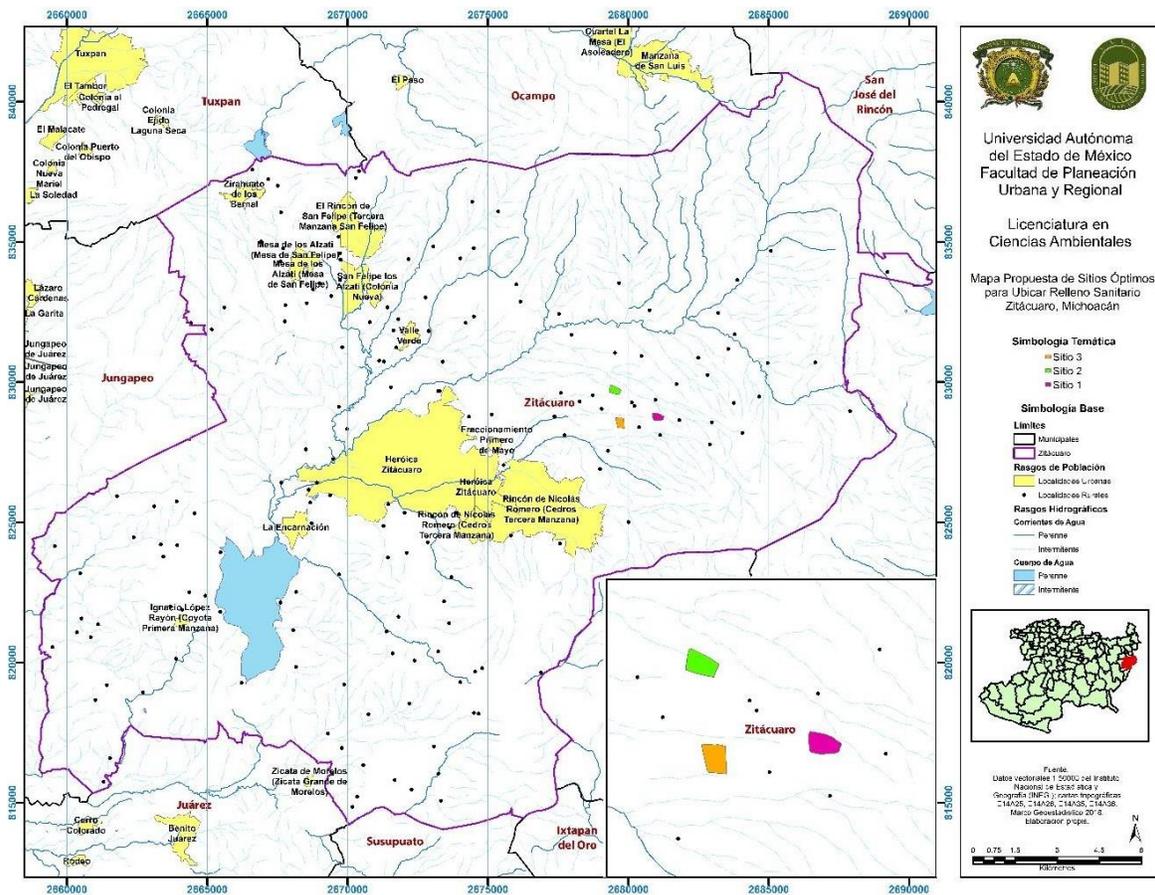
6.4 Propuesta

Con base en el mapa de resultados se seleccionaron 3 sitios como propuesta y se evaluaron a través de una visita de campo a cada sitio, fueron los más óptimos no solo porque en el mapa estén en el área con muy alta o alta aptitud, sino también por características de vías de comunicación, que quiere decir que estén a una distancia considerable de una carretera, para que se facilite el acceso tanto a la hora de construcción como funcionamiento del relleno sanitario, también se corroboraron algunos datos del mapa como la pendiente. Se tomó en cuenta el

predio del terreno, que en su mayoría era de personas particulares, pero sin plan de alguna construcción, había muy pocos habitantes en los sitios, de la zona urbana no es mucha la distancia hacia estos lugares, lo que es un factor importante por los gastos de transporte.

La ubicación de éstos tres sitios se observa en el siguiente mapa:

Imagen 6.9 Mapa Propuesta de Sitios Óptimos para Implementar Relleno Sanitario Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

El sitio 1 es el polígono color rosa, el sitio 2 está identificado con color verde y el sitio 3 es el polígono color naranja, a continuación, se mencionan las características de cada sitio.

Sitio 1

El primer sitio está ubicado a 8.73 kilómetros del centro de Zitácuaro, ubicado en las siguientes coordenadas:

- Latitud 19°26'51.19"N
- Longitud 100°16'13.90"O

Se observó que la zona tiene una pendiente un tanto elevada, el terreno tiene un perímetro de 1,156 metros y un área de 85,799 metros cuadrados, es de dos diferentes dueños, pero no tienen planes de construcción en la zona.

En cuanto a las vías de comunicación, la entrada del terreno está a 111.5 metros de la carretera principal y hay un camino de acceso no pavimentado, pero en buenas condiciones, en la zona se encuentran alrededor de tres casas habitadas solo en la orilla del terreno.

Es una muy buena opción para ubicar un SDF ya que cumple 100% con la normatividad en cuestión ambiental y tiene fácil acceso, en las siguientes imágenes se puede observar el terreno.

Imagen 6.10 Fotografía Propuesta Sitio 1 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Imagen 6.11 Fotografía Propuesta Sitio 1 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Imagen 6.12 Fotografía Propuesta Sitio 1 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Imagen 6.13 Fotografía Propuesta Sitio 1 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Sitio 2

El sitio 2 se ubica a 8 kilómetros del centro de Zitácuaro, está ubicado en las siguientes coordenadas:

- Latitud 19°27'15.34"N
- Longitud 100°16'55.23"O

El terreno tiene una pendiente levemente inclinada, este sitio tiene un perímetro de 1,202 metros y un área de 85,494 metros cuadrados.

El terreno tiene acceso a vías de comunicación, se ubica a 480 metros de la carretera libre "Zitácuaro- Toluca", se debe pasar por un puente que atraviesa la autopista para acceder al sitio y hay un camino de acceso no pavimentado a pocos metros de la ubicación exacta del mismo, de la autopista mencionada anteriormente, este sitio se encuentra a 246 metros tomando como referencia un camino que no está en uso y que se encuentra a unos metros antes de llegar a la caseta de dicha autopista.

Este sitio cumple un 87% con la normatividad en cuestión ambiental, es una buena opción para ubicar un SDF, no hay casas alrededor y el espacio es de un solo dueño.

Se puede apreciar lo mencionado en las imágenes siguientes:

Imagen 6.14 Fotografía Propuesta Sitio 2 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Imagen 6.15 Fotografía Propuesta Sitio 2 Zitácuaro, Michoacán.



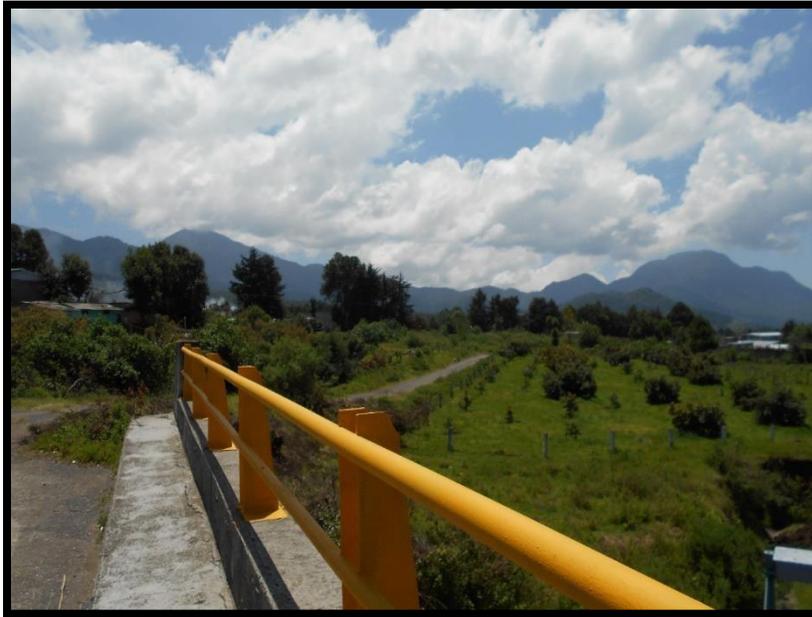
Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Imagen 6.16 Fotografía Propuesta Sitio 2 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Imagen 6.17 Fotografía Propuesta Sitio 2 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Imagen 6.18 Fotografía Propuesta Sitio 2 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Imagen 6.19 Fotografía Propuesta Sitio 2 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Sitio 3

La ubicación de este sitio se encuentra a 7.5 kilómetros del centro de Zitácuaro, las coordenadas son:

- Latitud 19°26'47.32"N
- Longitud 100°17'0.68"O

La pendiente de este terreno es un poco pronunciada pero dentro del parámetro que marca la norma, el terreno tiene un perímetro de 1,241 metros y un área de 93,240 metros cuadrados.

Para ingresar a este terreno se debe tomar la carretera libre "Zitácuaro-Toluca" y pasar por un camino sin pavimento, se recorre una distancia de 600 metros para llegar a él, sin embargo, existe la posibilidad de entrar por otro camino que es de un terreno privado la distancia que se recorrería es de 313.5 metros. Este sitio es de

tres diferentes dueños, pero no están en uso, alrededor del terreno hay algunas huertas de guayaba y no habitan personas cerca del sitio.

El sitio 3 cumple con un 98% de la normatividad establecida en cuestión ambiental, pero el acceso al terreno y algunas condiciones lo hacen menos viable que los dos descritos anteriormente.

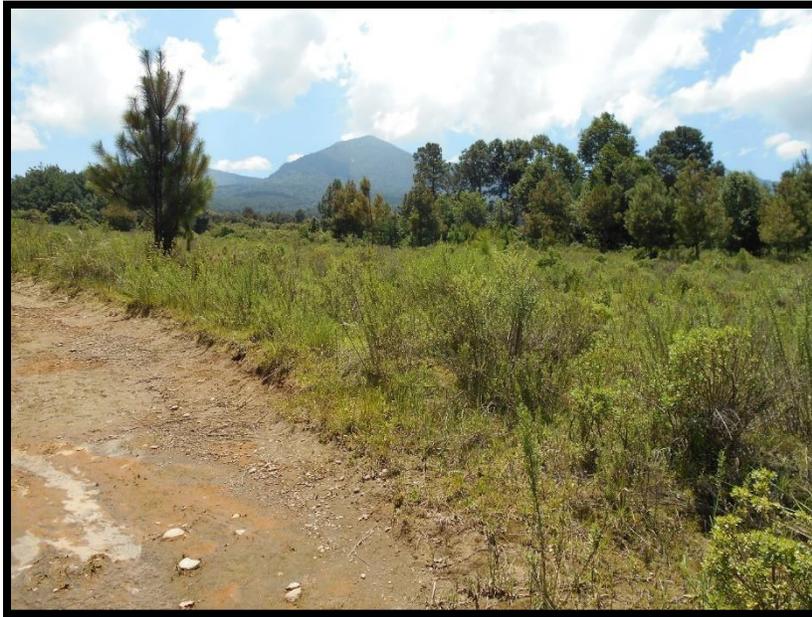
En las siguientes imágenes se pueden observar algunas características:

Imagen 6.20 Fotografía Propuesta Sitio 3 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Imagen 6.21 Fotografía Propuesta Sitio 3 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Imagen 6.22 Fotografía Propuesta Sitio 3 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Imagen 6.23 Fotografía Propuesta Sitio 3 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

Imagen 6.24 Fotografía Propuesta Sitio 3 Zitácuaro, Michoacán.



Fuente: Fotografía tomada en visita de campo, 2019.

6.5 Conclusiones

El objetivo principal de esta tesis era hacer una propuesta de localización para ubicar un relleno sanitario en el municipio de Zitácuaro, Michoacán que se apegara a los criterios que establece la NOM-083-SEMARNAT2003.

La intención de este trabajo al proponer un lugar donde ubicar un sitio de disposición final es dar respuesta al plan de desarrollo municipal que describe el objetivo de buscar un sitio adecuado donde ubicar un nuevo relleno sanitario, por otra parte, el proyecto surgió con la intención principal de reducir la contaminación al ambiente que puede generar la mala ubicación de un SDF.

Para solucionar este problema se observó a través de la investigación que se debe tomar en cuenta no solo un lugar adecuado para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, sino también el servicio de recolección y transporte de éstos para asegurar una buena gestión y minimizar la contaminación que ocasionan los tiraderos a cielo abierto a falta de este servicio.

Así pues, la aportación principal de este proyecto es la propuesta de 3 sitios que cumplen con la normatividad referente a la ubicación de sitios de disposición final y la obtención de mapas que describen las características físicas del municipio y que fueron generados para producir un mapa final de resultados.

Las conclusiones de esta investigación están basadas en los resultados obtenidos a lo largo de la aplicación metodológica y son las siguientes:

- Nos basamos en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 “Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.” Fue fundamental tomar en cuenta los factores y restricciones de dicha norma para lograr la evaluación multicriterio.
- Se tomaron en cuenta capas de información de aspectos físicos (edafológicos, geológicos, de uso de suelo y pendiente) que fueron útiles

para considerar dificultades de construcción del SDF y de contaminación por infiltración por tipo de suelo, entre otras.

- Para obtener resultados seguros fue indispensable utilizar información cartográfica de INEGI, los SIG, el software ARC GIS y fue necesario combinar y estandarizar todas las capas para obtener un mapa cartográfico final.
- De los resultados obtenidos se seleccionaron 5 sitios de acuerdo con el mapa final y tomando en cuenta las vías de comunicación y la distancia de la zona urbana del municipio de Zitácuaro.
- Se realizó una visita de campo a cada uno de estos sitios, pero solo 3 de ellos cumplían con las características necesarias para ubicar un SDF y fueron los que se propusieron en el proyecto.
- Podemos concluir este proyecto mencionando que se cumplió con el objetivo general que era el siguiente: Elaborar una propuesta de localización para la ubicación de un nuevo relleno sanitario en el municipio de Zitácuaro, Michoacán, incluyendo criterios ambientales de la NOM-083-SEMARNAT2003. Así mismo cabe mencionar que también se dio respuesta todos los objetivos específicos.
- Las propuestas de este proyecto para implementar un SDF cumplen con lo establecido por la normatividad para reducir los daños de contaminación al ambiente, pero si se decidiera tomar en cuenta alguna de ellas serían necesarios algunos estudios ambientales más profundos para lo cual es necesario un equipo especial.

Anexos

Entrevista realizada al H. Ayuntamiento del municipio de H. Zitácuaro, Michoacán

1. Fuentes de Generación de Residuos Sólidos Urbanos
2. Generación per-cápita de Residuos Sólidos Urbanos
3. Porcentaje de residuos generados
4. Quién es el encargado de la recolección de basura
5. Frecuencia de la recolección de basura
6. Método de recolección utilizado
7. ¿Cómo garantizan que se recogen en tiempo y forma los residuos sólidos?
8. ¿Cuentan con un mapa de rutas?
9. ¿Cada cuánto capacitan al personal de limpia?
10. ¿Cuentan con sitio de transferencia de residuos?
11. ¿Cuentan con sitio de disposición final?
12. ¿Cumple con la normatividad de SEMARNAT o alguna otra?
13. ¿Cuáles no cumple y cuáles sí?
14. ¿Cuál es el tiempo de vida útil?
15. ¿Cuál es el gasto de gasolina mensual?
16. ¿Con cuántos camiones cuentan?
17. ¿Reciclan materiales de los residuos?
18. ¿Cuál es la distancia del transporte al sitio de disposición final?

Bibliografía

- 1er Informe de Gobierno Zitácuaro, Michoacán. (Agosto de 2019). Obtenido de https://www.zitacuaro.gob.mx/2015_2018/transparencia/fraccion17/informeact2019.pdf
- Ambientum. (2019). Obtenido de Composición de los Residuos Sólidos Urbanos: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/composicion_de_los_rsu.asp
- Ayuntamiento de Zitácuaro, Michoacán. (12 de octubre de 2015). *Portal Oficial de Zitácuaro*. Obtenido de http://www.zitacuaro.gob.mx/2015_2018/?seccion=articulo&id=150011
- Badilla, E., Rojas, W., & Vargas, I. (2008). UBICACIÓN DE SITIOS APTOS PARA LA DISPOSICIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS AL OESTE DEL VALLE CENTRAL COSTA RICA. *Revista Geológica de América Central*.
- Bernache Pérez, G. (2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. Un estudio de la región centro occidente de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000500014
- Catarina. (2017). Base de Datos Geográfica. (U. d. (UDLAP), Recopilador) Recuperado el 2017, de catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/morales_x_a/capitulo2.pdf
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2002). GUIA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCION Y OPERACION DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES. En J. Jaramillo. Universidad de Antioquia, Colombia. Recuperado el 13 de noviembre de 2017, de <http://ambiente.lapampa.gob.ar/images/stories/Imagenes/Archivos/Guia.pdf>
- Chávez Vasavilbaso, A. (05 de abril de 2014). EL MANEJO DE RESIDUOS EN MÉXICO. México. Obtenido de http://www.ceja.org.mx/IMG/PyGA_Art_Ing_Alfonso_Chavez.pdf
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas CONANP. (2019). *Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación (SIMEC)*. Obtenido de Consulta fichas ANP : https://simec.conanp.gob.mx/consulta_fichas.php
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (s.f.). *Aprovechamiento sustentable*. Recuperado el 2018, de <http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/cbmm/cbmm.html>
- CONAGUA. (4 de enero de 2018). *CONAGUA Comisión Nacional del Agua*. Obtenido de SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SUBGERENCIA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL AGUA: <https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Edos/michoacan/michoacan.html>
- CONAGUA. (s.f.). ACUÍFEROS. Obtenido de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos>

- CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. (2016). Recuperado el 21 de AGOSTO de 2019, de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/htm/1.htm>
- CRID centro regional de información sobre desastres america latina y el caribe. (2008). *CONTAMINACIÓN AMBIENTAL*. Obtenido de <http://www.cridlac.org/vcd/files/page127.html>
- Criterios de Selección. (2002). En E. Roben, *Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales*. Loja, Ecuador. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/fulltext/loja.pdf
- Cueva del Águila, S., & Quiroz Ramirez, J. (2017). *Mapa de Pendiente*. TINGO MARIA, PERU: Universidad Nacional Agraria de la Selva. Recuperado el agosto de 2019, de <https://es.scribd.com/document/367050137/Mapa-de-Pendiente>
- Delgado, D. C. (Junio de 2014). (PREZI, Recopilador) Recuperado el 2019, de <https://prezi.com/qhacxiflczio/conceptos-basicos-de-sig/>
- ESRI. (2019). *SIGSA- ESRI Environmental Systems Research Institute*. Obtenido de Plataforma ArcGIS: <https://www.sigsa.info/es-mx/arcgis/about-arcgis/overview>
- Ferdinand Quiñones, P. . (1995). UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG) PARA LA UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO REGIONAL EN PUERTO RICO. PURTO RICO. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/puertorico/lxii.pdf>
- García Vargas M.C.1, Rangel García E.I.2, & García Arreola A.3. (s.f.). CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DEL MUNICIPIO DE ZITÁCUARO, MICHOACÁN. México. Obtenido de <http://ru.iiec.unam.mx/3252/1/276-Garcia-Rangel-Garcia.pdf>
- Giménez Vera, M., & Cardozo Carrera, C. R. (2012). LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE RELLENO SANITARIO APLICANDO TÉCNICAS MULTICRITERIO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL ALTO PARANÁ. *Séptimo congreso del medio ambiente*. Alto Paraná,, Paraguay. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26832/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Guiza, V., & Sánchez, B. (1986). *Glosario de términos sobre medio ambiente*. Unesco-PNUMA-OREALC. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0008/000855/085533SB.pdf>
- H.Ayuntamiento, Zitácuaro. (2018-2021). Obtenido de http://www.zitacuaro.gob.mx/2015_2018/ayuntamiento/plandedesarrollo16.pdf
- INAFED Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (2010). *Base de datos de Economía 2010 INEGI. Censo de Poblacion y Vivienda 2010*. Obtenido de <http://www.snim.rami.gob.mx/>
- INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal*. Obtenido de <http://geoweb2.inegi.org.mx/compendiosmun/ctrlpant>

- INEGI. (2010). Topografía. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/default.html#Descargas>
- INEGI. (2015). *Cuentame INEGI Medio ambiente / Basura*. México. Obtenido de <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/ambiente/basura.aspx?tema=T>
- INEGI. (2015). *INEGI. Banco de Indicadores*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?t=0200&ag=070000160112>
- INEGI. (03 de FEBRERO de 2016). Dirección General de Estadísticas Sociodemográficas. Encuesta Intercensal 2015. Obtenido de www.inegi.org.mx
- INEGI. (2018). *Marco Geoestadístico*. Michoacán. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463674658>
- INEGI. Encuesta Intercensal 2015*. (8 de 12 de 2015). Obtenido de <http://www.snim.rami.gob.mx/>
- Instituto Geográfico Nacional REPUBLICA ARGENTINA. (2012). *Instituto Geográfico Nacional República de Argentina*. Obtenido de www.ign.gob.ar/sig
- Inventario Nacional de Humedales México. (2012). *GLOSARIO GENERAL DE TÉRMINOS DEL DESARROLLO DE LA BASE METODOLÓGICA PARA EL INVENTARIO NACIONAL DE HUMEDALES DE MÉXICO*. Recuperado el 2019, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102189/Glosario_de_T_rminos.pdf
- Jaramillo, J. (2002). *GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES, Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones*. Recuperado el 10 de ABRIL de 2017, de <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/curso/relleno/capitulo2.html>
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (2013). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento*. México. Obtenido de <http://itculiacan.edu.mx/wp-content/uploads/2013/08/LGPGIR.pdf>
- LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS. (2018). Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf
- LEY PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS EN EL ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO. (2016). Obtenido de <http://morelos.morelia.gob.mx/ArchivosTranspMorelia/Art3518/Norm/Fraccl/248.pdf>
- LGEEPA. (2018). *LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE*. Recuperado el 21 de agosto de 2019, de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf
- LGPGIR. (2013). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento*. México. Recuperado el 2018, de <http://itculiacan.edu.mx/wp-content/uploads/2013/08/LGPGIR.pdf>

- Mena Frau, C., Morales Hernández, Y., Ormazábal Rojas, Y., & Gajardo Valenzuela, J. (2010). LOCALIZACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO EN LA COMUNA DE PARRAL, CHILE, A TRAVÉS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO. *Interciencia*, 7.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (diciembre de 2010). Guía para la Implementación, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios. Bolivia. Recuperado el agosto de 2019, de file:///C:/Users/Rebeca/Downloads/guiarellenossanitarios-131022212819-phpapp01.pdf
- PELLANT, C. (1992). *Manuales de Identificación. Rocas y Minerales*. Barcelona: OMEGA S.A . Recuperado el 09 de septiembre de 2019
- Pérez, G. B. (2006). *Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental*. México, D.F.: Publicaciones de la Casa Chata. CIESAS.
- Primer Plano*. (Junio de 2017). Obtenido de <https://primerplanoweb.com.mx/?p=15040>
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). (2004). *NORMA Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003*. Recuperado el 05 de septiembre de 2019, de <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf>
- Ramírez Treviño, A., Sánchez Nuñez, J. M., & García Camacho, A. (2004). El Desarrollo Sustentable: Interpretación y Análisis. *Revista del Centro de Investigación.*, 55-59. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/342/34202107.pdf>
- Rangel, I. (12 de diciembre de 2014). Zitácuaro: Buscan alternativas para tirar basura, en proceso la clausura de tiradero a cielo abierto. *mizitacuaro*. Obtenido de <http://www.mizitacuaro.com/zitacuaro/16726-zitacuaro-buscan-alternativas-para-tirar-basura-en-proceso-la-clausura-de-tiradero-a-cielo-abierto.html>
- Rangel, I. (Jueves de Octubre de 2015). Tiradero de basura de Zitácuaro no cumple con normas ambientales. *mizitacuaro*, pág. 1.
- Rodríguez Villeneuve, J. (2003). *DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE SITIOS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA EL VIZCAÍNO*, B.C.S. La Paz, B.C.S.: CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.
- Rodríguez, M., & Salinas, M. (2006). Selección primaria de zonas para la construcción de sitios de disposición. *AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: investigación, desarrollo y práctica.*, 14 .
- Rodríguez, R. R. (10 de Diciembre de 2014). Cierre de basurero de Zitácuaro ocasiona problemas en la recolección. *Cambio de Michoacán*, pág. 1.
- Romero Marisol, A. (2016). *SELECCIÓN DE SITIOS INTERMUNICIPALES PARA RELLENOS SANITARIOS MEDIANTE UN MODELO DE SOPORTE DE DECISIONES ESPACIALES*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sáez, A., Urdaneta G, & Joheni A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *OMNIA*, 121-135. Recuperado el 15 de mayo de 2017, de <http://www.redalyc.org/html/737/73737091009/>

- Sanchez Nuñez, J. M., Velásquez Serna, J., Serrano Flores, M. E., Ramirez Treviño, A., Balcazar Vasquez, A., & Quintero Rodríguez, R. (2008). *Criterios ambientales y geológicos básicos para la propuesta de un relleno sanitario en Zinapécuaro, Michoacán, México*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Recuperado el agosto de 2019, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v61n3/v61n3a2.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2001). Elementos para el manejo local adecuado de los residuos sólidos. *Gaceta Ecológica*, 38-47.
- SEGOB, S. d. (20 de 10 de 2004). *NORMA Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003*. Obtenido de DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=658648&fecha=20/10/2004
- SEMARNAT. (2017). DEFINICIÓN DE RESIDUOS. México. Recuperado el 04 de abril de 2017, de tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGGIMAR/Guia/07-017/definicion-residuos.doc
- SEMARNAT. (abril 2009). CAPITULO 7. RESIDUOS. México, D. F.: IEPSA. Obtenido de http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008_ing/pdf/cap_7_residuos.pdf
- SEMARNAT. (s.f.). *Compendio de estadísticas ambientales 2010*. Recuperado el 22 de ABRIL de 2017, de Glosario SEMARNAT: aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/.../WFServlet5c54.html
- SEMARNAT Dirección general de fomento ambiental, urbano y turístico. (2015). *Instalación utilizada tradicionalmente para la disposición final de residuos*. Obtenido de <http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/apoyosysubsidios/residuos/lineamientos-residuos-2015.pdf>
- Silva, T., Estrada, F., Ochoa, S., & Cruz, G. (NOVIEMBRE de 2006). PROPUESTA METOGOLÓGICA PARA LA UBICACIÓN DE ÁREAS DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. Michoacán, México.
- Ullca, J. (2006). LOS RELLENOS SANITARIOS. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la vida*, 2-17.
- Umaña, I. G. (2002). MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE SITIOS PARA RELLENO SANITARIO. San Salvador, El Salvador. Recuperado el agosto de 2019, de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/fulltext/metevasit.pdf
http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/fulltext/iv-080.pdf
- Vasavilbaso, I. A. (2014). EL MANEJO DE RESIDUOS EN MÉXICO. México. Recuperado el 22 de abril de 2017, de www.ceja.org.mx/IMG/PyGA_Art_Ing_Alfonso_Chavez.pdf